

Daniel Filipe Azevedo Catalão

**O contributo dos SIG com recurso a ferramentas de código aberto
e programação em Python para o planeamento do transporte
coletivo:
O caso da cidade do Porto**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território, orientada pela Professora Doutora Elsa Maria Teixeira Pacheco

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

setembro de 2015

O contributo dos SIG com recurso a ferramentas de código
aberto e programação em Python para o planeamento do
transporte coletivo:
O caso da cidade do Porto

Daniel Filipe Azevedo Catalão

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território, orientada pela Professora Doutora Elsa Maria Teixeira Pacheco

Membros do Júri

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professor Doutor António Fernando Vasconcelos Cunha Castro Coelho
Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto

Professora Doutora Elsa Maria Teixeira Pacheco
Faculdade de Letras – Universidade do Porto

Classificação obtida: valores

Sumário

Agradecimentos.....	7
Resumo.....	8
Abstract.....	9
Índice de Figuras	10
Índice de tabelas	13
Lista de abreviaturas e siglas.....	14
Capítulo 1 - Introdução	15
1.1. Objetivos	16
1.2. Metodologia	17
Capítulo 2 - Introdução Teórica	19
2.1. Os transportes coletivos no Porto: notas sobre a consolidação da rede atual.....	19
2.2. Transporte coletivo <i>versus</i> transporte individual	22
2.2. Bases da Regulação das políticas de transportes.....	24
Capítulo 3 - Sistemas de informação Geográfica para transportes (GIS-T).....	26
3.1. Sistemas de Informação Geográfica.....	26
3.2. Os GIS-T: definição e natureza	29
3.2.1 Representação de dados GIS-T	30
3.3. O mundo dos “ <i>open-source</i> ”: <i>softwares</i> gratuitos.....	31
3.4. Python aplicado aos SIG	33
3.5. Structured Query Language aplicada aos SIG	35
3.5.1. Base de Dados Espacial e as potencialidades do PostgreSQL	36
3.5.2. As aplicações do PgRouting.....	37
Capítulo 4 – O Sistema de Transportes Coletivos Urbanos do Porto.....	37
4.1. Notas Metodológicas.....	37
4.2. Enquadramento da Área de Estudo e Caracterização Sociodemográfica.....	38
4.3. Relação do Porto com a sua envolvente: fluxos populacionais.....	43
4.4. O Sistema de Transportes Rodoviário de Passageiros	49
4.4.1. A Oferta: Frequências e tempos de deslocação	49
4.4.2. Os principais interfaces do Porto.....	59
4.5. A relação da cidade do Porto com a periferia	70
4.5.1 A modelação da rede e <i>queries</i> à base de dados.....	71
4.5.2. A acessibilidade em transporte individual e coletivo – O caso dos interfaces da Casa da Música e da Trindade	77
Capítulo 5 – Conclusões.....	85

5.1. Perspetivas futuras.....	88
Referências bibliográficas	90
Anexos.....	93
Anexo 1	95
Anexo 2	96

Agradecimentos

Resumir-vos a uma página é ingrato para a importância que tiveram neste percurso. Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais, Maria do Céu Campelos e Manuel Catalão, por me proporcionarem estes anos espetaculares e por me deixarem perseguir os meus sonhos, sem qualquer entrave.

À minha orientadora Professora Doutora Elsa Pacheco que me suportou nos momentos mais difíceis e de maior indecisão e por ter aceite orientar-me neste último degrau. Um obrigado especial ao Professor António Costa pela ajuda que me deu e por estar sempre disponível para me auxiliar. Ao Professor Ricardo Baptista, pela amizade e estima.

À TRENMO e aos meus companheiros de trabalho Marta Martins, Ricardo Coimbra, Inês Bartolomeu, Vítor Barros, Cláudia Moreiras, Vera Palma que estiveram presentes desde o primeiro momento e me ajudaram a dar os primeiros passos no “mundo do trabalho”. Um obrigado especial ao Professor Doutor Álvaro Costa pelos conhecimentos que me transmitiu e pela confiança depositada em mim. Ao Professor José Pelayo pela oportunidade.

Às minhas eternas meninas Mafalda Lopes, Sofia Campos, Catarina Maia e Ana Sousa, porque nos mantivemos sempre unidos neste nosso percurso universitário. Aqueles que também apareceram já em MSIGOT: Mohamed Mohsen, Paloma Lucena Moya e Cláudia Pereira. À Elisabete Capelo pelas horas infindáveis de conversa e pela confiança.

Aos meus amigos da vida universitária, com um obrigado especial à Geração Aníbal, que tão importantes foram na minha formação pessoal. Aquele grupo que mesmo ausente, está sempre presente: Filipe Ribeiro, Hugo, Vasco, Rosário, Marlene, Besteiro, André Inácio, Catarina Neto, Catarina Costa, Vera Fortunato, João Silva, João Moreira e a todos os outros que passaram pelo meu percurso académico. Ao meu padrinho de praxe Hélder Oliveira.

Aos meus eternos amigos que conheço desde sempre André Moreira, Beatriz Pereira, João Ferreira, Diana Gomes. Um abraço especial ao Nuno Veiga por todas as horas de conversa e por estar sempre presente. À Paula Oliveira pela amiga verdadeira que é e por me ter aturado neste último ano. Ao senhor José Ferreira pela imprescindível amizade.

A última frase é dedicada à família: pais, tios, primos, avós (os de hoje e os de sempre).

Resumo

Os anos 90 do século XX registaram a época de maior crescimento dos Sistemas de Informação Geográfica, crescimento esse que ainda se mantém, assistindo-se atualmente ao aparecimento cada vez mais frequente de novas ferramentas, tanto comerciais como de código aberto.

A expansão das cidades verificada nas últimas décadas levou ao desenvolvimento de novos acessos viários que, acompanhados da melhoria económica das famílias, conduziu ao aumento exponencial do uso do automóvel. O transporte coletivo demorou a adaptar-se sendo insuficiente para satisfazer grande parte dos movimentos pendulares.

Neste trabalho abordam-se os SIG na vertente dos transportes com recurso a programas de código aberto e apoiado na linguagem de programação *Python*, apresentando-se algumas metodologias de análise com o intuito de examinar os transportes coletivos da cidade do Porto.

A análise dos transportes coletivos incidiu sobre a oferta incluída na rede Andante, tarifário multimodal que serve a cidade. A representação em ambiente SIG da cobertura espacial e da oferta existente evidenciou quais as áreas que têm um serviço público de transportes mais escasso, tanto no Porto como nos concelhos limítrofes.

A abordagem individual dos principais interfaces de transportes no interior do território concelhio do Porto permitiu analisar a cobertura espacial e a sua importância relativamente aos concelhos contíguos à cidade, analisando-se a população abrangida por cada um dos interfaces estudados.

A comparação das impedâncias entre o transporte individual e transporte coletivo permitiu perceber quais as áreas com maior dependência face ao automóvel particular.

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográfica para Transportes, transportes coletivos, mobilidade urbana, código aberto, Porto

Abstract

The twentieth century, especially the 90s, were the period of greatest growth for the Geographic Information Systems, although this growth still remains, as we witness the increasingly frequent appearance of new tools, both commercial and open source.

The expansion of cities in recent decades led to the development of new road access, which accompanied with the economic improvement of households, led to the exponential increase in car use. The public transportation was slow to adapt and became insufficient to fulfill the majority of commuting demands.

This work addresses the GIS applied to transport using open source software and Python programming language, presenting some analysis methodologies, in order to examine the public transportation in Porto city.

The analysis of public transportation focused in the Andante network, a multimodal tariff serving the city. The spatial coverage and the existing transport offer from the GIS representation, showed which areas have scarce services of public transport, both in Porto and in neighboring municipalities.

The individual approach to the main transport interfaces within the Porto city allowed the analysis of their spatial coverage and their importance to the adjacent municipalities, analyzing the population covered by each of those interfaces.

The comparison of the impedance between individual and public transport allowed us to realize which areas are more dependent to private vehicles.

Keywords: Geographic Information System for Transportation, public transport, urban mobility, open source, Porto

Índice de Figuras

Figura 1 – Procura de passageiros no Porto, segundo o meio de transporte, entre 1883 e 1991. Cortesia do Professor Doutor Álvaro Costa (FEUP).....	20
Figura 2 – Rede de transportes coletivos no Porto, entre 1974 e 1997. Adaptado de Sousa e Alves (2001).....	21
Figura 3 – Parque Automóvel em Portugal, de 1974 a 2012. Fonte: ACAP, 2012.....	23
Figura 4 – As componentes de um SIG. Adaptado de Longley (2005).	27
Figura 5 – A origem dos GIS-T: cruzamento entre os SIG e os TIS. Adaptado de Vonderohe et al. (1993).	29
Figura 6 – Os conceitos de Free Software (ou software livre) e Open-Source. Elaboração própria.	33
Figura 7 – Importação da biblioteca Arcpy.....	34
Figura 8 – Exemplo de um script criado no programa Eclipse.	34
Figura 9 – Enquadramento Geográfico da Área de Estudo.	39
Figura 10 – Densidade Populacional na área de Estudo, por freguesia e por concelho, em 2011. Fonte: INE (2011).	40
Figura 11 – Variação Absoluta da População Residente no concelho do Porto e arredores, entre 1900 e 2011. Fonte: INE e Recenseamentos Gerais da População, 1900 a 2011.	41
Figura 12 – Variação Absoluta e Relativa da População Residente na AMP (1960-1981-2011). Fonte: INE, PORDATA (2011)	42
Figura 13 – Proporção de edifícios habitacionais construídos antes de 1980 sobre o total de edifícios construídos até 2011, à subsecção. Fonte: INE-BGRI (2011).....	43
Figura 14 – Parametrização da ferramenta de representação dos fluxos populacionais e visualização do interface com o utilizador. Elaboração Própria.	44
Figura 15 – Macro desenvolvida para obtenção de todos os pares origem-destino	45
Figura 16 – Fluxos Populacionais da população residente empregada ou estudante, sentido Porto > Restantes Concelhos. Fonte: INE (2011).....	45
Figura 17 – Fluxos populacionais da população residente empregada ou estudante, sentido Restantes Concelhos > Concelho do Porto. Fonte: INE (2011).	46
Figura 18 – Fluxos populacionais da população residente estudante, sentido Restantes Concelhos > Concelho do Porto. Fonte: INE (2011).	48
Figura 19 – Fluxos populacionais da população residente estudante, sentido Porto > Restantes Concelhos.....	49

Figura 20 – Parametrização da ferramenta de representação dos fluxos populacionais e visualização do interface com o utilizador. Elaboração Própria.	52
Figura 21 – Estrutura condicional (“if”) do parâmetro relativo ao sentido das circulações (excerto do script)	53
Figura 22 – Número de circulações de transporte coletivo da Rede Andante, na hora de ponta da manhã, sentido periferia-Porto	54
Figura 23 - Número de circulações de transporte coletivo da Rede Andante, na hora de ponta da tarde, sentido Porto-periferia.....	56
Figura 24 – Oferta de transporte coletivo: Interpolação segundo o inverso da distância (IDW).57	
Figura 25 – Oferta de transporte coletivo, em distintos momentos do dia.....	58
Figura 26 – Interação com o programa GVSIG para a criação das áreas de serviço das paragens	60
Figura 27 – Cobertura Espacial do InFigterface da Casa da Música	60
Figura 28 - Cobertura Espacial do Interface da Boavista (Bom Sucesso)	61
Figura 29 – Cobertura Espacial do Interface da Cordoaria	62
Figura 30 – Cobertura Espacial do interface de São Bento.....	63
Figura 31 – Cobertura Espacial do Interface da Trindade.....	64
Figura 32 – Cobertura Espacial do Interface do Bolhão	65
Figura 33 – Cobertura Espacial do Interface da Praça Marquês de Pombal	66
Figura 34 – Cobertura Espacial do Interface de Campanhã.....	67
Figura 35 – Cobertura Espacial do Interface do Hospital de São João	68
Figura 36 – Proporção do uso automóvel (como condutor ou passageiro) nos movimentos pendulares, por freguesia, em 2011. Fonte: INE-Censos (2011)	71
Figura 37 – Exemplo dos eixos de ligação entre os diferentes modos de transporte para a configuração da rede para o PgRouting: o exemplo da Trindade. Fonte: Bing Maps.....	72
Figura 38 – Ligação da base de dados criada no PostgreSQL ao software QuantumGIS.....	74
Figura 39 – “Query” desenvolvida para a criação da topologia da rede	75
Figura 40 – “Query” para a indexação dos campos “source” e “target”	75
Figura 41 – “Query” desenvolvida para o cálculo da impedância em minutos.....	76
Figura 42 – Exemplo da “query” desenvolvida para o cálculo da impedância, em minutos, entre um ponto inicial e todos os nós de rede.....	76
Figura 43 – Acessibilidade em transporte coletivo a partir da Casa da Música.....	78
Figura 44 - Acessibilidade em transporte coletivo a partir da Trindade	79

Figura 45 – Acessibilidade em transporte individual, tempo de deslocação do centro para a periferia: o caso de Vila Nova de Gaia	80
Figura 46 - Acessibilidade em transporte coletivo, tempo de deslocação do centro para a periferia: o caso de Vila Nova de Gaia	82
Figura 47 – Diferença de tempo de deslocação entre transporte individual e transporte coletivo: o caso de Vila Nova de Gaia	83

Índice de tabelas

Tabela 1 – Cronologia com datas marcantes do Metro do Porto. Adaptado de Metro (2007)....	22
Tabela 2 – Funcionalidades e preços das ferramentas SIG mais utilizadas atualmente.....	28
Tabela 3 – Os operadores da Rede Andante e os concelhos que servem	51
Tabela 4 – População abrangida pela cobertura espacial de cada um dos interfaces, por concelho, com base nos Censos 2011	69
Tabela 5 – Velocidades de circulação adotada, por modo de transporte, para a rede do transporte coletivo.....	73
Tabela 6 – Velocidade de circulação adotada por tipologia de rede para a rede de transporte individual.....	73

Lista de abreviaturas e siglas

BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação

CP – Comboios de Portugal

E.T.G. – Empresa Transportes Gondomarense, Lda.

INE – Instituto Nacional de Estatística

JES – J. Espírito Santo e Irmãos, Lda.

PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo

PIB – Produto Interno Bruto

Resende – Resende, Atividades Turísticas SA.

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SIT – Sistemas de Informação para Transportes

STCP – Sociedade de Transportes Coletivos do Porto, SA.

VALPI – Valpi Bus, Alberto Pinho & Filhos – Transportes Rodoviários SA.

Capítulo 1 - Introdução

A mobilidade e a acessibilidade são duas das mais básicas e elementares preocupações quando se aborda o tema dos transportes. Apesar de muitas vezes serem utilizadas como sinónimos, a avaliação de ambos os indicadores devem ser realizadas de forma totalmente distinta. Entende-se, nesta dissertação, que a mobilidade corresponde aos meios que os indivíduos dispõem para efetuar as suas deslocações, dependendo, entre outros fatores, da sua condição económica e física. Já a acessibilidade, refere-se às condições que servem de suporte aos movimentos, como por exemplo as infraestruturas e redes de transportes, condições estas que determinam os graus de acessibilidade às atividades.

Da complexidade dos elementos que compõem um sistema de transportes, decorrem dificuldades diversas associadas com o rigor e assertividade da informação e metodologias disponíveis para avançar com o planeamento da atividade e com a avaliação do seu desempenho. Dito de outra forma, permanecem algumas questões, entre elas: como se pode avaliar a eficácia de um sistema de transportes? Como se podem aproveitar as novas tecnologias de código aberto para uma análise mais aprofundada do nível de serviço? Como é que se deve planear uma rede e acompanhar a evolução da cidade do ponto de vista económico e social?

O desenvolvimento das redes intermodais de transportes esteve sempre aliado à História do Urbanismo, isto é, à afirmação das cidades em contextos regionais e internacionais. Os avanços técnicos conduziram à redução das distâncias, dos custos e dos tempos de viagem, causando alterações na perceção das distâncias entre lugares por parte dos indivíduos.

O desenvolvimento e expansão periurbana, suburbana e exurbana¹ das cidades ocorridos nas últimas décadas não foram acompanhados pelo progresso de uma rede de transportes eficiente e equilibrada que satisfizesse os movimentos pendulares diários exigidos pela população, que acompanhassem a evolução das dinâmicas populacionais, o que seguido de um aumento do PIB (Produto Interno Bruto) *per capita*, levou a que a população optasse pela utilização do transporte individual, ou seja, à banalização da utilização do automóvel (Pacheco, 2001, p. 45).

A discussão sobre a importância de um sistema de transportes adequado às dinâmicas das Áreas Metropolitanas adquiriu outro peso com o aumento da preocupação ligada aos impactos negativos dos níveis de motorização na economia e ambiente, resultado do uso excessivo e em

¹ Segundo Pacione (2009), exurbanização é um conceito mais lato que suburbanização, sendo definido como a expansão da cidade para além da “anel” urbano, fenómeno ocorrido após a relativa descentralização de alguns empregos e o crescimento de zonas industriais fora da “coroa” urbana.

massa do automóvel privado (Banister, 2000). Aliado a este facto, está o modelo de ordenamento e planeamento do território que provocou uma expansão excessiva das cidades, criando a necessidade de vencer as distâncias entre as áreas residências e os serviços e atividades de lazer do dia-a-dia, sem que tal se fizesse acompanhar pela adequada expansão da rede de transportes.

É nesse sentido que se torna essencial o estudo da acessibilidade para a gestão da mobilidade, dado que os padrões de mobilidade estão condicionados pelo uso do solo e pelo sistema de transportes (Silva, 2008). Enquanto a mobilidade representa a escolha que as pessoas fazem com o sistema de transportes existente de acordo com a facilidade dos movimentos pendulares, a acessibilidade trata de estudar a interação desse mesmo sistema de transportes com os usos de solo e a localização das atividades ligadas à população.

É neste panorama que os Sistemas de Informação Geográfica² assumem um papel de charneira no ajuste da rede de transportes coletivos às deslocações efetuadas por parte dos utilizadores.

1.1. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral demonstrar como as ferramentas e técnicas associadas aos Sistemas de Informação Geográfica podem auxiliar no diagnóstico da situação atual e definição de estratégias de atuação.

Recorrendo à visualização em ambiente SIG, pretende-se discutir a inter-relação entre a mobilidade e a malha construída, percebendo de que forma é que se espacializam os movimentos pendulares e o modo como estes podem ser valorizados, concorrendo a um espaço urbano mais funcional e eficiente. Através da produção de isócronas e da análise da rede de transportes coletivos existentes, pretende-se clarificar quais são as áreas que têm melhores condições de mobilidade tendo em conta a ligação à cidade do Porto.

Através de técnicas avançadas de análise espacial disponíveis em múltiplas plataformas *open-source*, pretende-se elaborar uma abordagem mais aprofundada sobre a real situação dos transportes coletivos de passageiros. Com a determinação das áreas de influência das paragens e estações de acesso ao transporte coletivo pretende-se avaliar a acessibilidade aos principais espaços públicos de circulação e de lazer e aos serviços dedicados à população, tais como escolas e hospitais.

² *Geographic Information System (GIS)*

Do ponto de vista mais prático, serão gerados *scripts*³ e utilizadas um conjunto de ferramentas livres para o estudo do sistema de transportes urbanos do Porto. Numa fase inicial, é necessário avaliar a oferta e a procura potencial do sistema de transportes existente de maneira a identificar e a responder a um conjunto de questões, tais como:

Q1: Quais são os meios e modos de transporte disponíveis no Porto e na sua envolvente e como é que interagem?

Q2: O serviço está de acordo com a distribuição espacial da população?

Q3: Quais as áreas que estão em défice e, provavelmente, precisam de um reforço da oferta?

Q4: Os tempos de deslocação do transporte coletivo são competitivos quando comparados com o transporte individual?

Q5: Em que situação se encontra a mobilidade e a acessibilidade dos utilizadores?

1.2. Metodologia

A presente dissertação de mestrado aborda a importância e o papel que os SIG podem ter no planeamento e gestão dos transportes públicos, do ponto de vista do diagnóstico da situação atual e do ponto de vista da definição das estratégias a adotar. Aproveitando a criação de múltiplas aplicações e *softwares* SIG que surgiram nas últimas duas décadas, vão ser utilizadas maioritariamente ferramentas de código aberto, isto é, de livre uso para qualquer utilizador.

Com a concetualização de *workflows* para a criação de mapas temáticos, serão utilizados diversos *softwares open-source*, tais como QuantumGIS, PostgreSQL e GVSIG, em articulação com programação em Python efetuada com recurso ao módulo *Arcpy* (módulo Python do ArcGIS). Mesmo utilizando um *software* comercial, apenas são empregues comandos que pertencem à licença standard da ESRI, isto é, sem as ferramentas pertencentes ao ArcINFO nem qualquer outra extensão. Procura-se, desta forma, utilizar as ferramentas livres para complementar um conjunto de análises espaciais efetuadas ao longo do trabalho.

Com recurso à criação de áreas de influência (*buffers*), proximidade entre lugares, produção de isócronas através de modelos TIN e produção de interpolações através da técnica IDW (*Inversed Distance Weighted*), pretende-se avaliar a mobilidade e acessibilidade no concelho do Porto através da avaliação do Sistema de Transportes Coletivos que serve o território concelhio.

³ Trata-se de um conjunto de instruções em código, escritas sobre uma linguagem de programação, tais como Python, Javascript, PHP, VBScript, entre outras.

A avaliação da rede atual passa por observar a oferta disponível, através da elaboração de mapas temáticos para saber quais são as áreas que têm melhor cobertura territorial, e a procura potencial com recurso a dados do INE, através da análise das interações espaciais e dos locais de emprego. Nesta fase, torna-se necessário observar as dinâmicas de interação pendular do Porto com os concelhos vizinhos.

Esta etapa de diagnóstico da rede atual é fulcral para a definição das estratégias a adotar na rede futura, como a análise dos principais “corredores” de transporte e quais são as áreas dentro do concelho do Porto que necessitam de uma maior frequência ou até mesmo de novas linhas e paragens, sempre com auxílio dos Censos à população disponibilizados pelo INE.

Posto isto, considerou-se que este estudo deveria ser dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo apresenta o tema e os objetivos a serem atingidos ao longo da Dissertação, para além dos métodos utilizados para chegar a esse fim.

O segundo capítulo serve como uma introdução e apresentação geral da área de estudo, fazendo um périplo da evolução dos transportes coletivos na cidade do Porto e a forma como estes interagiram com as fases de expansão da malha construída, debatendo igualmente sobre a importância do automóvel e a “concorrência” que este faz ao transporte coletivo.

O terceiro capítulo apresenta a discussão teórica acerca dos Sistemas de Informação Geográfica e a sua aplicação no setor dos transportes. Neste capítulo é apresentado o tema dos *softwares open-source* e a posição que estes ocupam no universo dos SIG, tentando elucidar conceitos e termos e a sua aplicação em estudos de transportes. Faz-se uma análise quanto à aplicação de linguagens de programação como *Python* e *SQL* (na sua componente espacial) e a forma como estas podem ser aplicadas.

No quarto capítulo apresenta-se o Sistema de Transportes Públicos Urbanos do Porto, desenvolvendo um conjunto de análises à rede e cruzamento com dados estatísticos. Pretende-se, inicialmente, fazer uma caracterização sociodemográfica da área de estudo, partindo de uma análise com dados estatísticos, para depois abordar a oferta atual de transportes e a forma como esta se distribui no espaço. Neste capítulo, é avaliada a mobilidade e acessibilidade da população, isto é, a forma como interage com o espaço e os níveis de acesso às áreas de maior procura.

No quinto e último apresentam-se as considerações finais do trabalho desenvolvido, procurando, igualmente, enumerar possíveis desenvolvimentos no futuro.

Capítulo 2 - Introdução Teórica

2.1. Os transportes coletivos no Porto: notas sobre a consolidação da rede atual

Desde as carruagens de tração animal até aos últimos avanços tecnológicos, como as linhas de alta velocidade ou os autocarros movidos a combustíveis alternativos, a história dos transportes coletivos passou por várias fases que marcaram a sua época. A constante procura por tornar os transportes cada vez mais fiáveis, baratos e rápidos levou ao aparecimento de vários meios e modos de distribuição. Para além disso, a própria disposição espacial da população pelo território tornou cada vez mais complexas a organização e o planeamento dos transportes. Este foi, também, o caso do Porto, onde a cidade se firmava como o centro onde coexistiam pessoas, bens e serviços, até ao Porto que se expandiu para além dos seus limites, em meados dos anos 60, dando origem a outras aglomerações que permaneceram intimamente ligadas à cidade do Porto, reperfilando-se o centro mais antigo como polarizador dos movimentos pendulares (Pacheco, 1992). De facto, os transportes coletivos têm-se configurado como um elemento estruturante e decisivo na organização espacial do tecido urbano, ficando “*inscritos na paisagem urbana*” (de Sousa & Alves, 2001).

Os transportes coletivos que antecederam a atual rede do concelho do Porto remontam ao século XIX, tendo como base a tração animal. Vulgarmente conhecidos como Carros Americanos⁴, a Companhia de Carril Americano abriu a primeira linha entre Porto e a Foz do Douro em 1872, sendo que o percurso inicial era feito desde a Porta Nova e até à Foz e Matosinhos. Com a popularização dos “banhos no mar”, a Companhia ganhou popularidade destronando os demais transportes citadinos, de tal forma que procurou aumentar a rede disponível durante as décadas seguintes (Pereira, 1995, pp. 36-37). Apesar disso, o transporte público não se assumiu como fundamental para a expansão da cidade, dado que a separação espacial entre o local de residência e de trabalho, embora exista, não se fez sentir com grande intensidade (Vázquez, 1992, p. 75)

Em 1895, as linhas de carros americanos, de tração animal, começaram a ser substituídas pela tração elétrica, tratando-se de um sistema de transportes pioneiro em Portugal e na Península Ibérica (Pacheco & Costa, 2012). Esta modernização coincide com uma significativa expansão urbana que ultrapassou os limites administrativos da cidade, em finais do

⁴ Conhecidos como «Americanos» por terem nascido nos Estados Unidos, espalhando-se pelas cidades de todo o mundo, entre as quais o Porto, que se desenvolvia ao ritmo da revolução industrial, procurando melhorar o seu arcaico sistema de transportes (Pereira, 1995, p. 33)

século XIX (Oliveira, 1973), traduzindo-se em elevadas densidades populacionais nas freguesias da Sé, São Nicolau, Vitória, Santo Ildefonso e Miragaia (F. L. d. Matos, 1994).

Imposta a supremacia do elétrico, até 1914, a malha da viação elétrica densificou-se, em função do aumento das deslocações motivadas pelo crescimento da cidade (Pacheco, 1992, p. 16). Até meados de 1950, o elétrico expandiu-se, passando a servir a área envolvente da cidade e até mesmo várias freguesias de concelhos vizinhos, contando já com cerca de 80 km de linhas (Pacheco & Costa, 2012, p. 2). Apesar de pioneiros, a cidade do Porto não registou um aumento de procura dos transportes coletivos (Figura 1) como o registado noutras cidades europeias, tais como Antuérpia, Marselha ou Leipzig, que após a modernização das linhas aumentaram drasticamente o uso do transporte público até ao uso intensivo do transporte privado (Á. Costa & Fernandes, 2012).

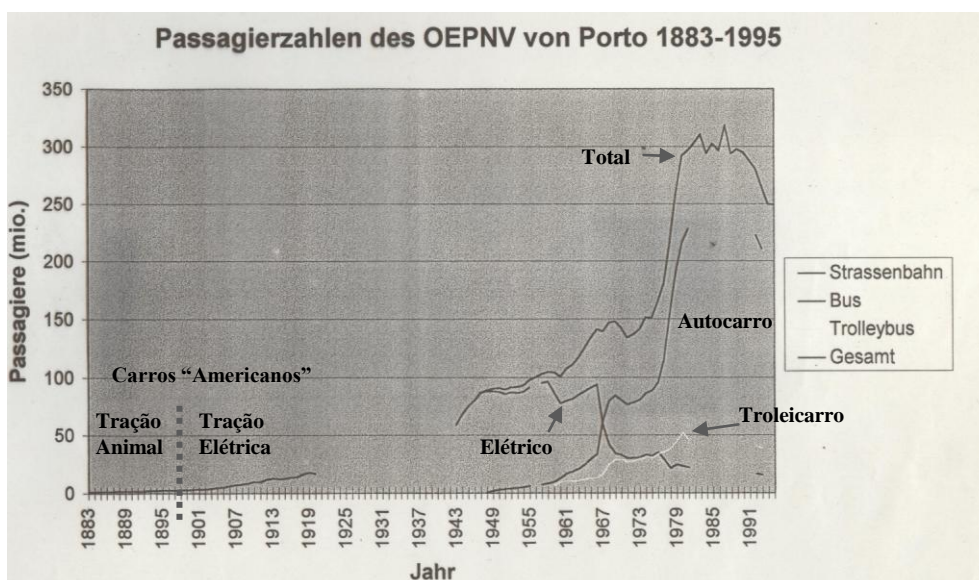


Figura 1 – Procura de passageiros no Porto, segundo o meio de transporte, entre 1883 e 1991. Cortesia do Professor Doutor Álvaro Costa (FEUP).

A partir da segunda metade do século XX, surge o autocarro e o troleicarro no Porto, ganhando na concorrência à rede dos elétricos. Em abril de 1948, foi inaugurado o primeiro serviço de autocarros do S.T.C.P. (Serviço de Transportes Coletivos do Porto), que passava a gerir a rede de transportes coletivos da cidade do Porto, tendo sido postos em circulação 10 veículos, distribuídos por quatro carreiras (Monterey, 1972, p. 311).

O troleicarro teve impacto imediato dado tratar-se de um serviço economicamente rentável, evitando maior poluição atmosférica. Este serviço foi introduzido no Porto em 1959, coexistindo durante décadas com o serviço a combustível, desaparecendo paulatinamente até ao

fim do século XX. Essa situação é comprovada através da leitura da Figura 2, onde o autocarro já imperava em 1974, aumentando a diferença ao longo dos anos em relação ao elétrico e troleicarros, que foram diminuindo a rede disponível. É de realçar, também, o facto do total de rede se aproximar dos valores apresentados pelos autocarros, situação que evidencia que diferentes tipos de viaturas fazem o mesmo percurso.

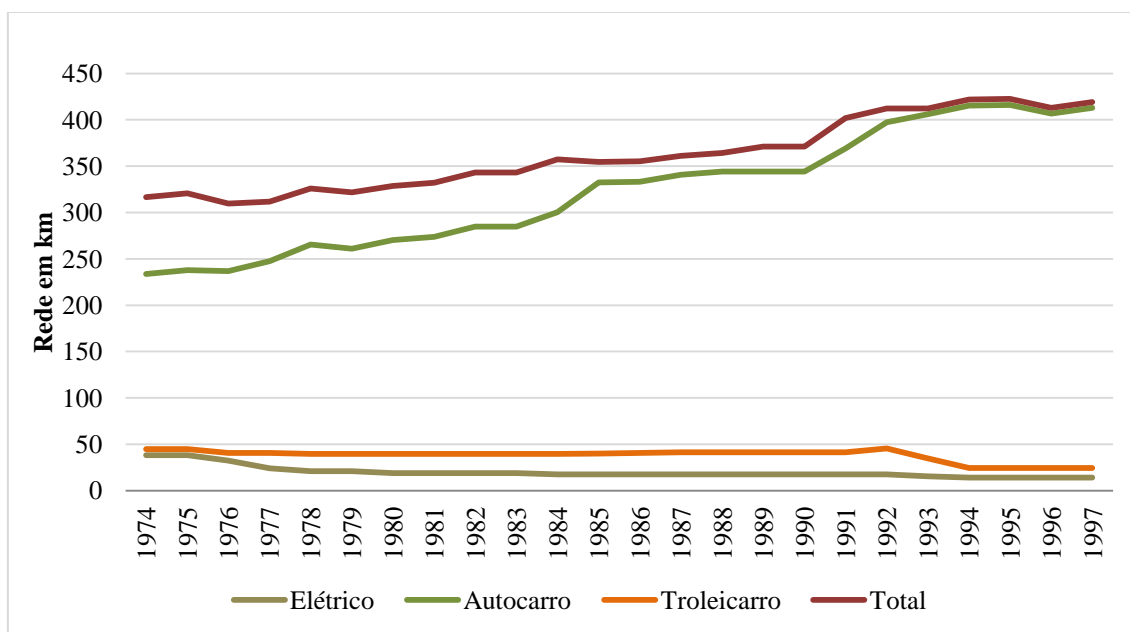


Figura 2 – Rede de transportes coletivos no Porto, entre 1974 e 1997. Adaptado de Sousa e Alves (2001).

A história dos transportes públicos na cidade do Porto também está fortemente marcada pela evolução da rede ferroviária no interior do concelho. A 19 de dezembro de 1844, constituiu-se a Companhia de Obras Públicas de Portugal que toma a seu cargo o desenvolvimento das comunicações no País (Monterey, 1972, p. 221). Em 1875, surgem 3 novas linhas a irradiar no Porto: Campanhã-Braga, Campanhã-Penafiel e Boavista-Póvoa de Varzim (e Famalicão), esta última assumindo-se inicialmente com um papel secundário (Silva Pereira, 2010). Só mais tarde, em 1896, é que foi realizada a primeira ligação Campanhã-São Bento, trazendo o comboio até ao centro da cidade. Até aos dias de hoje, a rede ferroviária apenas se modernizou, não existindo mais nenhum marco histórico relativo a este meio de transporte, exceto a passagem da linha Boavista-Póvoa de Varzim para a rede Metro.

O último grande marco na história dos transportes na cidade do Porto foi a criação do Metro Ligeiro. A primeira experiência na Área Metropolitana do Porto, ao contrário do que se possa supor hoje em dia, foi no concelho da Maia, em 1997 (Metro, 2007, p. 43). Só em 7 de

Dezembro de 2002, após sucessivos avanços e recuos que duraram 13 anos, a Linha Azul entre a Trindade e Senhor de Matosinhos é oficialmente inaugurada (p.91), com uma extensão de cerca de 12 km. A primeira fase de construção do Metro foi intensa e marcou, de facto, grandes alterações na estrutura da cidade, como por exemplo, a reconversão do tabuleiro superior da Ponte D. Luiz I, com a construção da única linha com eixo norte-sul do Metro do Porto (Linha D). Os principais factos históricos estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Cronologia com datas marcantes do Metro do Porto. Adaptado de Metro (2007).

Linhas	Data	Acontecimento
	Setembro de 1989	É apresentado o estudo «Transporte Colectivo em Sítio Próprio» (TCSP), realizado pelo STCP. Trata-se do primeiro documento que propõe o Metro Ligeiro como solução para os problemas de mobilidade na AMP.
	21 de Dezembro de 1994	É lançado o Concurso Público Internacional de Pré-Qualificação para a concepção, construção, equipamento e operação do Sistema de Metro Ligeiro.
	29 de Junho de 2002	O metro do Porto realiza viagens regulares com passageiros pela primeira vez, entre a Estação da Câmara de Matosinhos e Estação do Viso.
	2 de Setembro de 2002	Percurso passa a ser realizado entre Senhor de Matosinhos (um dos terminos atuais) e Estação do Viso.
	7 de Dezembro de 2002	Inauguração da Linha Azul do Metro do Porto, entre Trindade e Senhor de Matosinhos.
	27 de Junho de 2003	Proibição definitiva da travessia rodoviária no tabuleiro superior da Ponte D. Luiz I.
	5 de Junho de 2004	Inauguração da extensão Trindade-Estádio do Dragão.
	13 de Maio de 2005	Abertura da Linha Vermelha, entre Estádio do Dragão e Pedras Rubras.
	30 de junho de 2005	Abertura da Linha Verde, entre o Estádio do Dragão e o Fórum Maia.
	17 de setembro de 2005	Inauguração da linha Amarela, considerada a "Linha das Linhas". Troço entre Câmara Gaia e Pólo Universitário.
	18 de Março de 2006	Abertura do Segmento Pedras Rubras Póvoa de Varzim, ficando a Linha Vermelha concluída.
	31 de Março de 2006	Abertura dos segmentos Pólo Universitário-Hospital S.João, da Linha Amarela, e Fórum Maia/ISMAI, da Linha Verde.
	27 de Maio de 2006	Inauguração da Linha Violeta (Estádio do Dragão-Aeroporto).
	1 de janeiro de 2011	Inauguração da Linha F, conhecida como <i>linha de Gondomar</i> .
	15 de Outubro de 2011	Inauguração da Estação de Santo Ovídio, passando a ser o terminos em Vila Nova de Gaia da Linha D.

2.2. Transporte coletivo *versus* transporte individual

O contínuo aumento do uso do automóvel resultante da expansão urbana e do constante aumento do parque automóvel em Portugal (Figura 3) tem vindo a contribuir para o congestionamento nos principais centros urbanos e para a necessidade de repensar a mobilidade nas cidades. Somando ao aumento do número de veículos, criaram-se padrões de deslocação

mais complexos (baseados no automóvel) sendo um dos principais entraves ao desenvolvimento urbano sustentável (Banister, 2000, p. 115)

Na sua generalidade as cidades, durante a Revolução Industrial, transbordaram os seus limites, passando a ser compostas por várias aglomerações, que numa fase inicial são particularmente procuradas por jovens à procura de terrenos e apartamentos mais baratos, criando-se, assim, uma cidade de “elevadas mobilidades” (Teles, 2003, p. 32).

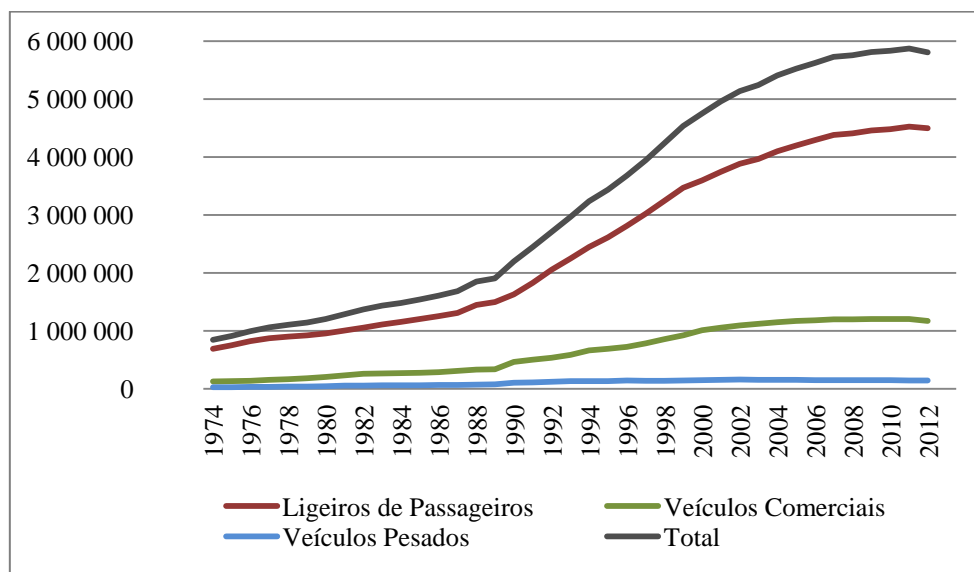


Figura 3 – Parque Automóvel em Portugal, de 1974 a 2012. Fonte: ACAP, 2012.

Com isto, as necessidades e os padrões de deslocação alteraram-se, nomeadamente ao nível dos movimentos pendulares da população, isto é, nos fluxos habituais “casa-escola” e “casa-trabalho”⁵. O carácter diário destes fluxos exige que a cidade seja pensada de forma a satisfazer as necessidades da população, sendo fundamental procurar as causas desses movimentos e analisar as possibilidades e alternativas para o fazer (Vieira, 2008, p. 3)

É neste prisma que os Sistemas de Informação Geográfica podem auxiliar no planeamento das cidades, de modo a perceber alguns fenómenos, como o grau de dependência sobre o automóvel, ou na tentativa de justificar a opção modal por parte da população, recorrendo a técnicas avançadas de análise espacial.

Um sistema de transportes multimodal surge, à partida, como a solução ideal para fazer face ao uso excessivo do automóvel, que se tornou um símbolo de independência, liberdade e modernidade (Vieira, 2008, p. 5), sendo necessário, entre outros fatores, trazer à discussão “a

⁵ Deslocações profissionais, quotidianas, residenciais, domésticas, escolares, entre outras.

necessidade de novas políticas de transportes capazes de conciliar níveis aceitáveis de mobilidade com níveis mais elevados de eficiência” (Pacheco, 1992, p. 74)

Ou seja, o ritmo de vida aumentou e com ele, o ritmo da mobilidade urbana alterou-se profundamente, gerando maior dependência face ao automóvel (Teles, 2003, p. 33), dado que o sistema de transporte não evoluiu ao ritmo da expansão das cidades.

2.2. Bases da Regulação das políticas de transportes

A regulação do transporte público de passageiros engloba um conjunto de regulamentos europeus e nacionais que atualmente não estão bem articulados, resultando em algumas incongruências e incertezas quanto à estratégia e planeamento que se deve adotar à escala nacional e europeia, ocasionando um conjunto de preocupações e desafios.

A regulamentação deste modo de transporte tem como pano de fundo o Tratado de Lisboa, de 13 de dezembro de 2007, e a antevisão do processo legislativo dos transportes terrestres com vista à sua consensualização entre os Estados-Membros.

Do ponto de vista Europeu, o planeamento dos transportes terrestres, mais concretamente o de passageiros, teve início com o Tratado de Roma. Neste documento fundamental da regulação da Comunidade Europeia, é possível consultar a estratégia dos principais pilares económicos da Comunidade Europeia (instituída pelo mesmo documento), onde se insere o setor dos transportes. Segundo o art. 74º, os Estados-Membros da CE tiveram de adotar uma política comum de transportes.

A partir de 1992, após consciencialização da importância dos transportes para a economia europeia, no Tratado de Maastricht, a Comissão apresentou aquele que é o documento enquadrador mais importante, até à data, da Política Comum dos Transportes (P.C.T.)⁶. O documento define a abordagem global ao setor dos transportes, destacando a importância da mobilidade sustentável, pretendendo contribuir para o desenvolvimento económico, proteção do meio ambiente e contribuição para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

A evolução mais recente do setor dos transportes públicos de passageiros foi potenciada pelo aparecimento do regulamento (CE) nº 11/98, que estabelece as regras comuns para os transportes internacionais de passageiros em autocarro, realizando a distinção entre os serviços ocasionais e os serviços regulares especializados contratualizados entre a entidade adjudicante e a entidade adjudicatária, isto é, entre a entidade que contrata e um operador.

Em 2007, o Regulamento (CE) n.º1370, institui uma nova organização do transporte rodoviário e ferroviário de passageiros, denominado OSP – Obrigação de Serviço Público – que

⁶ O Livro Branco sobre “O desenvolvimento futuro da Política Comum dos Transportes.

vigora desde 2009, revogando o Regulamento (CEE) n.º 1191/69. A base deste enquadramento evoca, claramente, o princípio de subsidiariedade, reforçado no Tratado de Lisboa, em que um Estado-Membro deve ter autonomia e poder de decisão, capacitando os seus cidadãos, exceto quando não se provar eficaz, sendo que, neste caso, impõe-se a ação da União Europeia. A OSP prevê a atribuição de contratos de serviço público a adjudicar, por meio de concursos para os serviços de transportes, mas autoriza também, em algumas condições, a atribuição direta de tais serviços a pequenas e médias empresas, bem como situações em que as municipalidades e regiões podem optar pela prestação de serviços públicos próprios de transporte de passageiros. Ou seja, o documento não impõe qualquer definição restrita de OSP, não determinando critérios “fixos” relativos a aspetos de qualidade de serviço, do ponto de vista ambiental ou social.

Já no presente ano, foi aprovado o novo Regime Jurídico do Serviço Público de Transportes de Passageiros (RJSPTP)⁷, revogando o Regulamento de Transportes em Automóveis (RTA) de 1948, entre outros decretos-lei aprovados até à data. O RJSPTP tem como intuito seguir o Regulamento n.º 1370/2007 da U.E., que aponta um regime de concorrência regulada, propondo a abertura do mercado dos transportes de passageiros, atirando para segundo plano se o serviço público de transporte de passageiros é operado por uma empresa pública ou privada.

⁷ Lei n.º 52/2015 de 9 de junho

Capítulo 3 - Sistemas de informação Geográfica para transportes (GIS-T)

3.1. Sistemas de Informação Geográfica

Seguindo a primeira (e única) lei da geografia, todas as coisas estão relacionadas entre si, no entanto, as coisas mais próximas estão mais relacionadas que as mais distantes (Tobler, 1970) e é neste cenário que os SIG podem ser fulcrais para tentar encontrar respostas através das mais variadas técnicas de análise, indo em busca de decisões mais acertadas.

Os Sistemas de Informação Geográfica são, segundo Longley (2005), uma classe especial dos sistemas de informação, que procura não só registar os eventos, atividades e coisas, mas também onde esses eventos, atividades e coisas acontecem ou existem. O conceito de um Sistema de Informação Geográfica evoluiu ao longo de cerca de quatro décadas, passando de uma ferramenta a uma tecnologia, para se legitimar atualmente como um domínio científico. A evolução do conceito de SIG evoluiu ao ritmo do desenvolvimento das capacidades computacionais, que fez com que os SIG se expandissem de forma exponencial, principalmente a partir da década de 80, sendo abrangido atualmente por vários campos de pesquisa (J. L. d. Matos, 2001), entre os quais se encontra o setor dos transportes.

A evolução dos *hardwares* tornou muito mais fácil o armazenamento, manipulação e análise de grandes volumes de informação espacial (Peuquet & Marble, 2003), podendo uma base de dados conter informação desde *megabyte* ao *petabyte* (Longley, 2005) que, aliadas ao aparecimento de novos *softwares*, permitiu a criação de um conjunto de operações espaciais associadas ao estudo da distribuição de fenómenos geográficos, bem como das suas dimensões espaciais e atributos (Gaspar, 2008).

Atualmente, quaisquer SIG englobam um conjunto de componentes bem definidos (ver Figura 4), se bem que já é discutida atualmente a inserção de novas componentes, como a extensão web das aplicações (Longley, 2005, pp. 18-19), dado que a informação é cada vez mais apresentada sobre a forma de produto. Um SIG depende do *hardware*, do *software*, da qualidade dos dados, dos procedimentos e, é claro, das pessoas (ou técnicos) que as executam.



Figura 4 – As componentes de um SIG. Adaptado de Longley (2005).

Com a evolução da tecnologia computacional, a componente do *hardware* deixou de ser um problema. Hoje em dia, é possível adquirir um computador a um preço acessível, capaz de trabalhar com todo o tipo de dados geográficos. A componente dos *softwares* também já não é um entrave para o desenvolvimento de aplicações e análises SIG, pois, atualmente, existem aplicações comerciais (tais como ArcGIS, GeoMedia ou Idrisi), bem como já mais de uma centena de programas gratuitos, dos quais se destacam o QuantumGIS, GrassGIS, GvSIG, PostGIS, Udig, entre outros. É incontestável que o *software* que oferece maior segurança e fiabilidade é o ArcGIS, mas nem sempre é compatível em termos financeiros para empresas ou entidades, principalmente quando as ferramentas das versões Basic ou Standard não são suficientes. Na tabela seguinte são enumerados os preços de alguns destes programas de modo a perceber as diferenças entre os programas, não só no preço, mas também ao nível das funcionalidades disponíveis.

Tabela 2 – Funcionalidades e preços das ferramentas SIG mais utilizadas atualmente

	<i>Softwares</i>	Criação e Edição de <i>Shapefiles</i>	Múltiplos Utilizadores	Análise de dados avançadas e modelação	Integração de linguagens de programação	Preço
Pagos	ArcGIS Desktop – Basic	Sim	Não	Não	Sim. Evoluído ao nível do Python e VBScript.	2800€ a 3500€*
	ArcGIS Desktop – Standard		Sim			Sim
	ArcGIS Desktop - Advanced			30000€ a 40000€* + manutenção anual		
	ArcGIS Network Analyst Single Use	Extensão indicada para análises de rede de transportes. Não é compatível com o ArcGIS Desktop Basic.				4500 a 5000€
	GeoMedia Pro	-	Sim	-	Sim. Apesar de limitado quando comparado com o ArcGIS.	7500€ + manutenção Anual (+/- 2000€)
	IDRISI	Apenas indicado para modelação de imagens <i>raster</i> .				1.200 €
Gratuitos	QuantumGIS	Sim	Sim	Sim	Sim	Sem custos. Existem várias empresas para suporte comercial. Em Portugal existe a NaturalGIS.
	Udig	Sim	Não	Sim	Sim	Sem custos.
	GVSIG	Sim	Não	Sim	Sim	Sem custos. A comunidade GVSIG é maioritariamente de Espanha
	PostgreSQL/ PostGIS/ PgRouting	Sim	Sim	Sim	Sim	Sem custos. Com suporte profissional em diversos países e por várias entidades
	GrassGIS**	-	Não	Sim	Sim	Sem custos. Suporte comercial disponível.

*O preço é negociado diretamente com o fornecedor do software, podendo variar conforme o tipo e dimensão da empresa.

** Passível de se usar as ferramentas do GrassGIS no QuantumGIS.

No caso do ArcGIS, os preços variam conforme as extensões que o comprador solicite, tais como o *Network Analyst* que é a extensão com maior potencial para o setor da análise de rede de transportes, que neste momento custa cerca de 4500€ a 5000€.

3.2. Os GIS-T: definição e natureza

A acessibilidade a empregos, escolas, serviços e outros destinos de interesse à população, desde há muito que é reconhecido como uma das chaves do desenvolvimento sustentável dos transportes e até mesmo na definição de estratégias quanto aos usos de solo e ao planeamento das cidades. A relação entre os SIG e os transportes apesar, de ser relativamente recente, desde os primórdios do desenvolvimento dos SIG que tem sido avaliada, até porque alguns dos pioneiros desta tecnologia eram investigadores na área dos transportes nas Universidades norte-americanas de Washington e Northwestern (Thill, 2000, p. 1). As primeiras técnicas GIS-T serviram de suporte a estudos de transporte em Chicago (Goodchild, 2000, p. 2).

Os GIS-T surgem na década de 60, sendo que inicialmente era mais comum o tratamento dos dados em *raster*, dado que era mais fácil a aplicação de cálculos no formato matricial, devido à sua malha retangular (Goodchild, 2000, pp. 1-2). As limitações técnicas e computacionais da época não permitiam outro tipo de análises. Já Waters (2005) afirma que os SIG aplicados aos transportes estão a ser desenvolvidos desde os anos 80 e 90 (p. 828).

O acrónimo GIS-T é muitas vezes usado para se referir à aplicação e adoção dos SIG na pesquisa, planeamento e gestão dos transportes (Thill, 2000, p. 2). Vonderohe *et al.* (1993, pp. 10-11) argumenta que os GIS-T são o cruzamento entre os TIS (ou SIT, Sistemas de Informação de Transportes) e dos SIG (Figura 5), dando origem a aplicações direcionadas para a análise de transportes e redes, sendo utilizadas para a gestão e estudo de redes de transporte coletivo, bem como para facilitar a comunicação com os utilizadores.

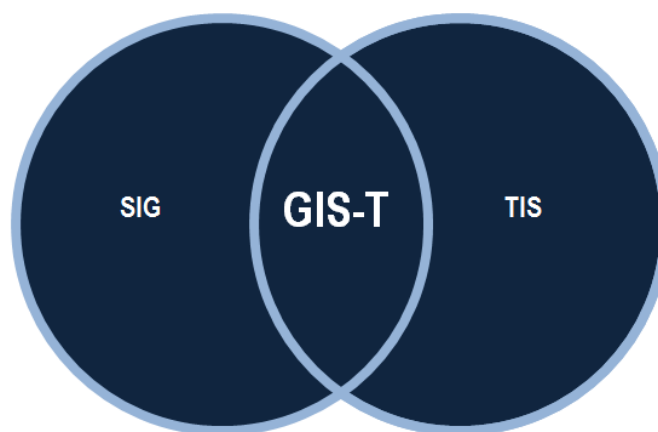


Figura 5 – A origem dos GIS-T: cruzamento entre os SIG e os TIS. Adaptado de Vonderohe *et al.* (1993).

Os GIS-T foram difundidos inicialmente nos Estados Unidos da América com a publicação de legislação para os vários modos de transportes nos anos 90 do séc. XX. Todos

esses documentos continham afirmações quanto à interdependência do sistema de transportes e outros fatores naturais, sociais e económicos, levando a que surgissem diversos estudos ligados ao setor de transportes que avaliam as redes das mais variadas perspetivas. Miller (1999, pp. 18-19) referia que os problemas dos transportes do próximo milénio seriam completamente diferentes dos do século anterior, e que levariam ao paradigma da maximização da eficiência da globalidade do sistema de transportes multimodal.

Rodrigue, Comtois, and Slack (2009, p. 33) dividem as componentes de qualquer estudo SIG em quatro fases: codificação (representação dos dados no espaço), tratamento da base de dados (espacial, temática e temporal), análise (operações tabulares e espaciais) e resultados (visualização cartográfica dos dados). A fase da codificação passa pela abstração da realidade e a passagem para o formato digital, como por exemplo da rede viária, com a vectorização dos eixos viários e todas as suas interseções, e à associação destes dados espaciais com informação alfanumérica (nome da rua, sentido, velocidade, restrições, velocidade, entre outros). A fase do tratamento da base de dados passa por organizar a estrutura dos dados segundo uma lógica espacial, temática e temporal. Quanto à análise, engloba as ferramentas e metodologias disponíveis para a temática dos transportes, como por exemplo a criação de *queries* tabulares ou espaciais, permitindo dar respostas na fase da apresentação dos resultados.

3.2.1 Representação de dados GIS-T

Uma das características únicas dos SIG é a capacidade de integrar dados espaciais com tabulares, podendo reconhecer padrões territoriais. A representação dos dados ligados aos transportes não foge à regra, podendo ser representada em dois formatos: Vetorial ou *Raster*.

No campo dos dados vetoriais discretos, os formatos reconhecidos são os pontos (como a posição de paragens de autocarros), as linhas (como a rede viária ou o trajeto de um autocarro) e os polígonos (por exemplo, a área ocupada por infraestruturas de transportes). Os dados vetoriais têm imensas potencialidades, nomeadamente, no caso dos dados representados no formato de pontos a cada coordenada XY é passível de serem associados um conjunto de atributos. Por exemplo, nas paragens de autocarros podemos associar a cada ponto o nome da paragem, as condições de segurança, o tipo de paragem (se tem cobertura, postelete, banco, etc...), a zona em que estão inseridas, entre outras. Nas linhas e polígonos a situação é similar dado que se tratam de um conjunto de coordenadas XY.

Já no campo dos dados matriciais, o formato mais reconhecido são as malhas quadrangulares constituídas por um conjunto de pixéis, representando um único valor ou variável por *pixel* e de forma contínua, isto é, todo a área de estudo tem um valor associado, mesmo que este seja nulo (zero). Um dos problemas mais comuns neste formato é a procura da resolução ideal, podendo não ser compatível com alguns tipos de análises.

Outro dos modelos mais comuns são os modelos TIN (*Triangulated Irregular Network*), que consiste numa estrutura de dados vetoriais que reparte o espaço geográfico em triângulos adjacentes e não sobrepostos, formando uma rede irregular de vértices com valores x, y e z. Apesar de a rede ser irregular, não é constituída de forma aleatória, pois, obedece à interpolação de *Delaunay*, isto é, “*um triângulo entre três pontos de uma malha irregular de pontos é um triângulo de Delaunay, se e só se, o círculo definido pelos três pontos não contém nenhum outro ponto*” (A. D. F. FONSECA & FERNANDES, 2004). Este formato é usado, por exemplo, de modo a obter isócronas a partir de um ou mais pontos.

Nos estudos ligados aos GIS-T são usados os dois modelos de dados, de modo a representar os dados geográficos mais relevantes (Rodrigue *et al.*, 2009, p. 34). Os GIS-T acabam por ser o cruzamento das capacidades do *hardware* e *software* com o mundo real, tentando representar todos os eventos que estejam associados ao setor dos transportes, que englobam desde a rede viária, passando por dados associados às pessoas até à interação com o meio ambiente.

A escolha do formato para a representação dos resultados depende sempre do tipo de dados que se quer representar. Por exemplo, as análises de redes associadas à teoria dos grafos são um conjunto de linhas e nós que devem ser representados sobre o formato vetorial, linhas e pontos neste caso. Outro dos tipos mais usados para a representação de dados GIS-T são as matrizes de Origem-Destino (O-D), que tanto podem ser representadas em formato vetorial ou matricial

Em suma, é possível dizer-se que os GIS-T são uma das áreas com maior representação na área de investigação dos SIG (Waters, 2005).

3.3. O mundo dos “open-source”: softwares gratuitos

A criação de *softwares* gratuitos a nível mundial surge, em meados dos anos 70 e 80, nas mais variadas áreas e para diversos fins, desde os mais generalistas como *web browsers* (ex.: *Mozilla Firefox*), até aplicações para diversas áreas científicas, como o programa R, de análises estatísticas (Steiniger & Bocher, 2009, p. 2). Alguns dos *softwares* disponíveis no mundo dos SIG são gratuitos e de código aberto ou partilhado, graças à colaboração de

múltiplas pessoas que procuram desenvolver programas de forma contínua. As primeiras ferramentas *open-source* nos SIG, também designados como FOSS⁸, surgiram ao longo dos últimos 10 anos (Steiniger & Hunter, 2013, p. 1).

Apesar de complementares, os conceitos de “*Free Software*” e “*Open-Source*” são ambíguos. Por um lado, os “*Free Software*” devem pressupor quatro níveis de liberdade: (1) a liberdade de usar o programa para qualquer propósito, educacional ou empresarial, (2) a liberdade de estudar e adaptar o *software* para as próprias necessidades, (3) a liberdade de redistribuir o *software* e (4) a liberdade de melhorar o *software* e disponibilizar as melhorias ao público em geral (Stallman, p.35). Este conceito, por vezes, é confundido como sendo um programa sem qualquer custo, dado ao termo “free” mas essa palavra refere-se à liberdade (“freedom”) de estudar, alterar e redistribuir cópias com ou sem alterações (Steiniger & Hunter, 2013, p. 3)

O termo FOSS acaba por ser o mais correto, dado que engloba ambos os conceitos, pois, por um lado os “*Free Software*” são confundidos como programas livres de qualquer custo (“free-of-cost”), mas ao mesmo tempo a designação de “*open-source*” também se torna insuficiente, dado que o código do programa pode estar disponível mas não usufrui dos quatro níveis de liberdade enumerados anteriormente, como por exemplo, a incapacidade de modificação do código (Stallman,p.43). Quanto aos *softwares* desenvolvidos para a área dos SIG a abreviação mais corrente é FOSS4G, isto é, “*Free and Open Source Software for GIS/Geospatial*”. A comunidade dos FOSS4G está a aumentar ano após ano, sendo organizados eventos anuais em cidades como Seul, Nottingham, Denver ou Barcelona.

Ao nível dos SIG, aquele que nos últimos anos se tem firmado como o *software* gratuito de excelência é o QuantumGIS, que tem atraído cada vez mais utilizadores e interessados em desenvolver e potenciar o programa, com uma oferta ampla de *plugins/addons* (isto é, extensões) para as mais diversas temáticas. Uma das principais vantagens do QuantumGIS é a capacidade de poder importar bibliotecas de outros Programas, como o GRASSGIS ou SAGA GIS, e poder utilizar as ferramentas sem qualquer limitação e num ambiente de interação mais usual para a generalidade dos utilizadores SIG⁹.

⁸ FOSS – Free and Open Source Software

⁹ Num ambiente do tipo *Desktop*, tal como é o ArcMap do ArcGIS, onde se pode consultar, interagir e manipular visualmente os dados.

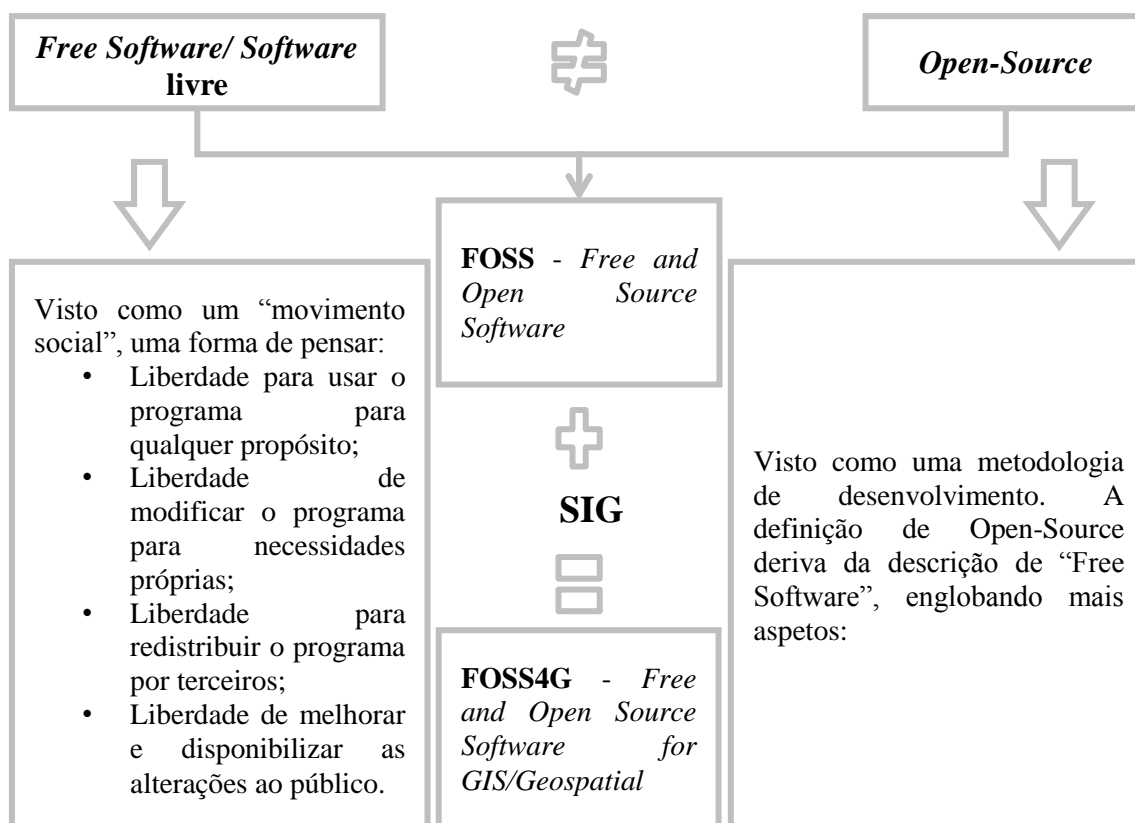


Figura 6 – Os conceitos de Free Software (ou software livre) e Open-Source. Elaboração própria.

Outro dos programas que tem uma adesão cada vez maior é o PostGIS, dado que permite criar uma base de dados com informação espacial e aceder a um conjunto de ferramentas avançadas de topologia e análise. O PostGIS trata-se de um dos módulos do PostgreSQL que permite realizar *queries* com recurso a linguagem computacional: SQL (*“Structured Query Language”*). Dentro do módulo do PostGIS é possível adicionar um conjunto de extensões que adicionam novas funcionalidades à ferramenta, entre as quais existe uma vocacionada para o setor dos transportes: PgRouting. Com recurso ao PgRouting é possível realizar-se um conjunto de análises a uma rede de transportes, apenas sendo necessário configurar corretamente a base de dados e conhecermos a estrutura de cada uma das linhas dos comandos.

3.4. Python aplicado aos SIG

O termo *Python* designa uma linguagem moderna de alto nível apropriada para uma ampla variedade de tarefas de programação (Westra, 2010, p. 7). O *Python* é uma linguagem *open-source* desde a criação desse termo (Toms, 2015, p. 50). Atualmente, a linguagem é usada

para sistemas “web-based”¹⁰, aplicações do tipo *Desktop* (como o ArcGIS), jogos, aplicações do ramo científico, entre outros. A maioria das aplicações SIG têm como base esta linguagem de programação e torna-se particularmente apelativa, pois, permite que o utilizador escreva linhas de comando e veja os resultados instantaneamente.

Hoje em dia, o Python é uma das linguagens de programação mais usadas. No que toca aos SIG, esta linguagem pode ser usada para controlar e criar aplicações para diversas plataformas e para múltiplos fins, de modo a produzir dados espaciais e mapas de forma organizada e rápida, usando o módulo *Arcpy* do ArcGIS (Toms, 2015, p. 48).

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 import arcpy
```

Figura 7 – Importação da biblioteca Arcpy.

O ArcGIS 10.2 permite que o utilizador desenvolva os seus próprios comandos fora do ambiente SIG, trabalhando só com linhas de código. A instalação do programa já inclui, por defeito, a instalação do módulo Python 2.7 e do ambiente IDLE¹¹. No presente trabalho, as linhas de código foram desenvolvidas no programa Eclipse, com a extensão Pydev. A finalidade do Eclipse é igual ao IDLE, mas possui um interface mais amigável. Na Figura 8 está exposto um exemplo de um *script* desenvolvido no Eclipse.

<p>Linha 1 e 2: Um “#” representa uma linha de código que serve para fazer comentários. O programa não lê. Mesmo assim, a linha 2 serve para o comando aceitar caracteres especiais</p>	<pre>1 #!/usr/bin/env python 2 # -*- coding: utf-8 -*- 3 4 import arcpy 5 from arcpy import env 6 7 arcpy.env.overwriteOutput = True 8 arcpy.env.workspace = "C:\\Dissertacao\\Dados" 9 10 lista = arcpy.ListFeatureClasses() 11 12 for fc in lista: 13 print fc 14</pre>
<p>Linha 7: Caso fosse necessário “escrever”/substituir dados com o mesmo nome.</p>	
<p>Linha 8: Definição da pasta de trabalho, do <i>workspace</i> de trabalho.</p>	
<p>Linha 10: criação da variável “lista” e leitura de todas as <i>shapefiles</i> que estão no <i>workspace</i>.</p>	
<p>Linha 12: Utilização de um ciclo “for” para percorrer um elemento de cada vez da lista criada. Linha 13: o ciclo “imprime”/devolve o nome de cada um dos elementos da lista.</p>	

Figura 8 – Exemplo de um script criado no programa Eclipse.

¹⁰ O acesso ao programa, sistema ou aplicação é realizado via web.

¹¹ Também conhecido como “Ambiente de Desenvolvimento Integrado”, permite desenvolver códigos em Python, destacando as palavras reservadas (tais como *import*, *for*, *if*, etc...) e a respetiva indentação.

Posto isto, para estruturar um código *Python* é necessário, antes de mais, dominar como se deve estruturar o código, compreender os conceitos mais básicos e a linguagem normalmente utilizada. Como qualquer outra linguagem de programação, o *Python* possui um conjunto de palavras reservadas que já têm uma utilização previamente definida¹², não podendo ser usadas para outro fim.

3.5. Structured Query Language aplicada aos SIG

O termo SQL é da abreviação de *Structured Query Language* que é a linguagem usada em base de dados relacionais. A linguagem SQL é o meio habitual para comunicar à base de dados o que queremos fazer (Din, 1994), ou seja, trata-se de um tipo de linguagem de programação estandardizada com o intuito de consultar, criar, atualizar ou manipular a informação presente numa base de dados.

Atualmente, a grande maioria das bases de dados estão de acordo com modelo de dados em rede ou hierarquizados (Din, 1994, p. 8). Os modelos relacionais foram introduzidos por Codd (1970), afirmando que uma base de dados relacional era uma coleção de tabelas onde cada uma estava relacionada com outra, sendo necessário caracterizar o tipo de relações entre tabelas com a definição da cardinalidade, isto é, se a relação entre os campos-chave é de 1:1 (Um para Um), 1:M (Um para Muitos), M:1 (Muitos para Um) ou M:M (Muitos para Muitos). No caso de linhas, cada segmento corresponde a uma entrada na tabela de atributos, ficando armazenada na forma de registo simples (*n-uplo* ou *n-tuple*), cada coluna corresponde a um atributo e a tabela corresponde a uma relação.

Até aos anos 90 do século XX, a formulação de perguntas à base de dados era limitada a perguntas tabulares, sendo impossível fazer o cruzamento com interações espaciais. A única possibilidade naquela época era a exploração de campos binários longos (BLOB's) ou esquema de tabelas relacionais para armazenar a componente espacial do dado geográfico (de Queiroz, Monteiro, & Câmara, 2013, p. 481).

Na primeira década do século XXI, começaram a surgir os primeiros programas que suportavam base de dados com componente espacial, como o *Oracle Spatial*. Mesmo no setor dos *softwares* livres começaram a surgir os primeiros programas que suportavam bases de dados geográficas, como a extensão PostGIS do PostgreSQL ou o Spatialite. Neste momento, a linguagem SQL já possui certificado ISO (*International Organization for Standardization*), definindo mundialmente as normas técnicas a cumprir.

¹² Conhecidas como *statements*, palavras que formam a sintaxe do código, tais como import, for, if, print, entre outras.

3.5.1. Base de Dados Espacial e as potencialidades do PostgreSQL

As bases de dados espaciais são basicamente base de dados que contêm informação geográfica de uma área em particular e com um determinado fim (Longley, 2005, p. 218).

Estas permitem que o utilizador guarde as características geométricas nas tabelas pertencentes à base de dados e fornecem funções espaciais únicas que permitem consultar e manipular os dados com recurso a SQL (Obe & Hsu, 2011). Ao nível dos SIG, a maioria das bases de dados criadas são usadas apenas para a armazenamento de dados, mas é possível realizar um conjunto de análises espaciais, com recurso a SQL.

Esse tipo de consultas espaciais foi sendo padronizado pela comunidade SIG ao longo de décadas de modo a obedecer às normas definidas pelo ISO e OGC (*Open Geospatial Consortium*). O rol de consultas disponíveis na maior parte das plataformas SIG permite responder a perguntas, tais como, se as formas geométricas são iguais, se as geometrias se interseitam, se as fronteiras são adjacentes, entre outras.

O PostgreSQL é um dos FOSS disponíveis na Web que permite a criação de base de dados objecto-relacional¹³, existindo há quase duas décadas, oferecendo robustez, segurança e garantia de integridade dos dados¹⁴, sendo considerada inúmeras vezes como o *software* livre de referência para esta finalidade.

O PostgreSQL por si só não permite a importação de dados geográficos, sendo necessário proceder à instalação da extensão do PostGIS, própria para o tratamento de informação geográfica. O PostGIS é uma FOSS4G que possui mais de 300 operadores espaciais, funções espaciais e tipos de dados, que não é possível encontrar na oferta comercial existente (Obe & Hsu, 2011, p. 14). Esta extensão torna-se poderosa quando cruzada com outros *softwares*, livres ou comerciais, podendo oferecer interação espacial entre a base de dados e o programa SIG do tipo Desktop. Durante alguns anos, o único software que permitia interoperabilidade com o PostGIS era o QuantumGIS.

Para o setor dos transportes, uma das “bibliotecas”¹⁵ a explorar no PostGIS é a do *pgRouting*, que permite realizar um conjunto de análise a redes de transportes, incluindo vários algoritmos para o cálculo do caminho mais curto, áreas de serviço ou isócronas.

¹³ Segundo Obe e Hsu (2011), uma base de dados objeto-relacional permite guardar tipos de objetos geométricos mais complexos, permitindo que o utilizador defina novos tipos de dados, novas funções e operadores que manipulem esses novos tipos de dados.

¹⁴ Descrição com base no site oficial (<http://www.postgresql.org/about>)

¹⁵ As extensões, por vezes, também são apelidadas de “bibliotecas”. As ferramentas associadas ao *pgRouting* formam uma “biblioteca”.

3.5.2. As aplicações do PgRouting

Os *softwares* FOSS4G podem ser, de facto, uma grande mais-valia e um fator importante de competitividade do setor empresarial, dado que são cada vez mais as ferramentas disponíveis e livres de encargos financeiros. Por outro lado, ainda existem algumas reticências quanto à sua utilização pois a maioria ainda se encontra em fase de desenvolvimento. Mesmo assim, já começam a surgir algumas empresas, inclusive em Portugal, que começam a utilizar este tipo de programas, tal como a ProAsolutions, que utilizou a extensão espacial PostGIS do PostgreSQL e a extensão do pgRouting para o cálculo dos percursos de menor “custo” tendo em conta as limitações de cada utilizador (P. D. C. Costa, 2012).

As funcionalidades do pgRouting não se ficam pelo cálculo de caminhos mínimos, podendo ser ponderados índices através de múltiplos atributos, determinando o melhor percurso tendo em conta as diversas variáveis que foram inseridas nesse índice. Para a área dos transportes, uma das funcionalidades com maior potencial é a do “Driving Distance”, que permite calcular o “custo” de deslocação de um ponto previamente escolhido para todos os outros, podendo ser utilizado para avaliar a diferença dos tempos de deslocação pelos diferentes modos de transporte, ou quais são as áreas que estão mais próximas considerando esse ponto inicial. A potencialidade de poder fazer ligação da base de dados criada no PostgreSQL com outras plataformas, como o QuantumGIS ou Udig, torna-se realmente indispensável, pois, é possível ver os resultados das *queries* de forma quase imediata.

Capítulo 4 – O Sistema de Transportes Coletivos Urbanos do Porto

4.1. Notas Metodológicas

O presente estudo incide sobre a oferta de transportes coletivos na cidade do Porto, procurando analisar a cobertura espacial da rede e, deste modo, analisar a mobilidade e acessibilidade proporcionada pelo transporte coletivo.

Para isso, inicialmente serão analisados dados estatísticos disponibilizados pelo INE, como a população residente, as características do edificado e a análise da população residente empregada e estudante.

Antes de uma análise mais a fundo sobre a oferta de transportes na cidade do Porto, passou-se à análise dos fluxos populacionais de modo a compreender como a cidade se relaciona com os concelhos na sua envolvente. Assim sendo, foram representados em mapa,

com recurso a um código em *Python*, esses movimentos pendulares diários “casa-trabalho” ou “casa-escola”. Faz-se igualmente uma comparação da acessibilidade entre o transporte individual e o transporte coletivo de modo a tentar perceber a escolha modal por parte da população, sendo apresentadas algumas soluções práticas com recurso a ferramentas SIG.

A análise da oferta de transportes passou, numa fase inicial, por compreender como estes se distribuem pelos eixos viários, cruzando as redes dos operadores que colaboram no tarifário Andante. Para isso, foram contabilizadas as circulações de cada uma das linhas e repartidas por períodos do dia, sendo que a representação cartográfica irá resumir-se aos principais “picos” de oferta e procura: período da manhã, período da hora de almoço e período do fim da tarde.

Para uma análise mais profunda sobre a real situação da rede de transportes do Porto, dividiu-se a rede pelos principais interfaces, sendo analisada a cobertura espacial, não só em termos de abrangência territorial mas também em termos de frequência. Com isto, será possível compreender quais são as áreas com melhor e pior acessibilidade.

Este exercício foi realizado com recurso aos *softwares* QuantumGIS Pisa 2.10.1, PostgreSQL 9.1 (com recurso à extensão PostGIS 2.0 e pgRouting), GVSIG 1.12 e ao cruzamento de *scripts* em Python 2.7 integrados no ArcGIS 10.2.2.

Quanto aos dados geográficos utilizou-se a rede viária desenvolvida pela NAVTEQ de 2011, em formato vetorial. As divisões administrativas pertencem à Carta Administrativa Oficial de Portugal disponibilizada pela Direção-Geral do Território. Em mapas com dados estatísticos foram usados os limites administrativos de 2011 de modo a coincidir com os limites usados nos levantamentos estatísticos realizados pelo INE. Os dados tabulares e cartográficos¹⁶ à escala de subsecção são disponibilizados gratuitamente pelo INE.

4.2. Enquadramento da Área de Estudo e Caracterização Sociodemográfica

A cidade do Porto representa o principal polo de transportes da zona Norte. Tem uma grande representatividade no que diz respeito às deslocações pendulares de e para a cidade, mas também é o ponto de partida e chegada de transporte nacional e internacional.

O concelho do Porto está inserido na NUT III da Área Metropolitana do Porto¹⁷, fazendo fronteira com Maia a norte, com Valongo a nordeste, com Gondomar a este, com Matosinhos a oeste e com Vila Nova de Gaia a sul, com a particularidade de estarem fisicamente separadas pelo rio Douro. Apesar do presente estudo estar principalmente focado na rede de transportes

¹⁶ O Instituto Nacional de Estatística intitula-o como Base Geográfica de Referência de Informação (BGRI, 2011).

¹⁷ Segundo o Regulamento (UE), n.º 868/2014, que define as novas NUT's dos países da Comunidade Europeia.

que serve a cidade do Porto só é possível pensar numa rede equilibrada, flexível e eficaz com a compreensão das relações da cidade do Porto com as principais aglomerações urbanas que se formaram a partir da década de 60, nomeadamente Gondomar, Maia, Matosinhos, Valongo e Vila Nova de Gaia que assumiram, tal como o Porto, um papel polarizador dos movimentos pendulares (Pacheco, 2001, p. 6). Numa escala suburbana, pode adicionar-se Ermesinde, Braga, Guimarães e à escala regional/inter-regional Viana do Castelo, Barcelos e Régua, relacionando-se com o Porto, preferencialmente, por via ferroviária, ao nível dos transportes públicos de passageiros.

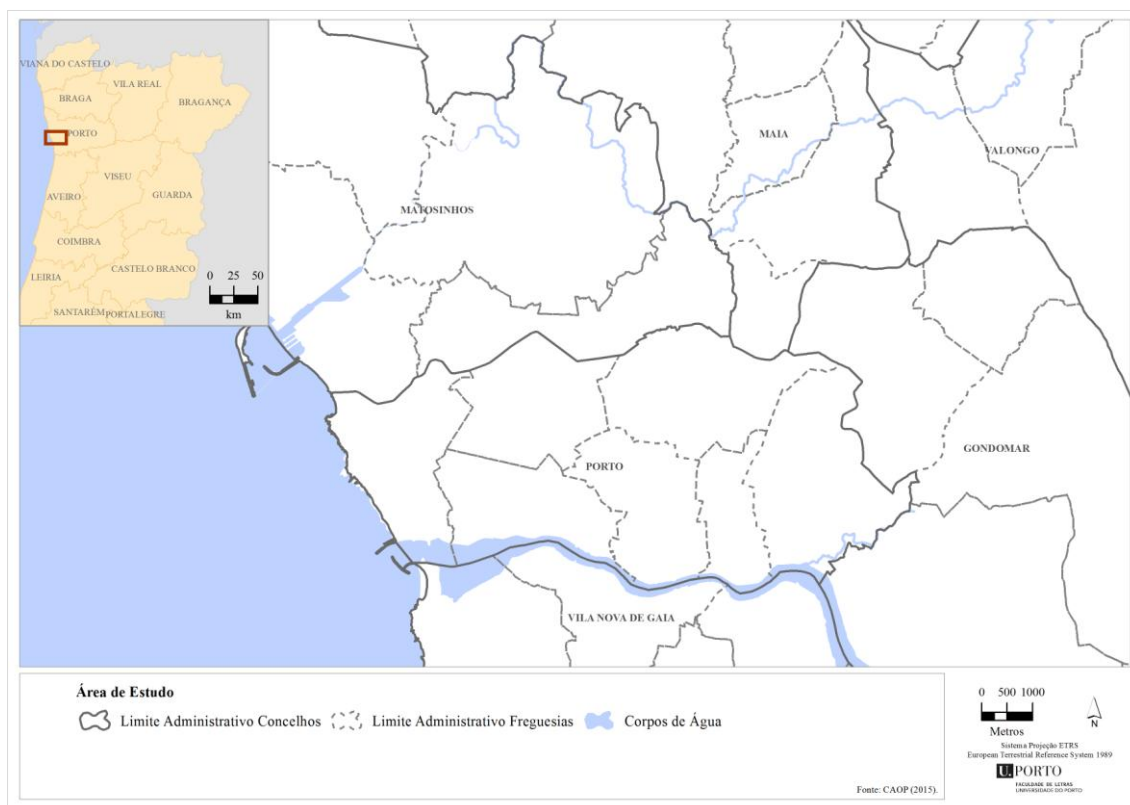


Figura 9 – Enquadramento Geográfico da Área de Estudo.

A análise das variações e padrões populacionais são fundamentais para entender a dinâmica da população e a forma como esta se fixa no mesmo. A leitura da Figura 10, permite observar os “anéis urbanos” que se formaram em volta da cidade do Porto, com os concelhos vizinhos do Porto a terem uma densidade populacional entre o 5000 e os 10000 habitantes por km^2 , com o Porto a ser o único município com uma densidade populacional entre os 10000 e os 20000 habitantes por km^2 . Quando olhamos para as freguesias com maior densidade populacional é possível associar os valores obtidos com o processo de expansão da cidade

ocorrida durante o século passado.

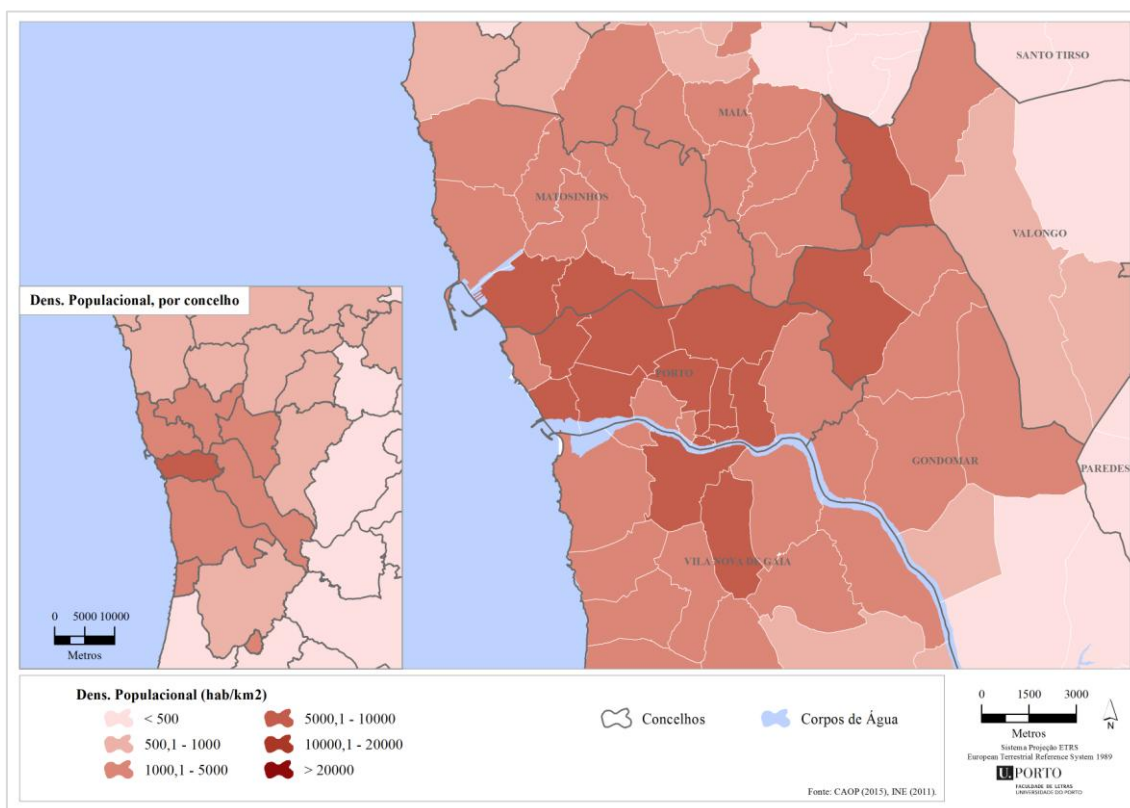


Figura 10 – Densidade Populacional na área de Estudo, por freguesia e por concelho, em 2011.
 Fonte: INE (2011).

A variação absoluta da população entre 1900 e 2011, presente na Figura 11, serve para fazer uma análise empírica das tendências e ritmos de crescimento populacional. Olhando para a figura, é possível dividir a evolução da população residente em, pelo menos, três fases: a primeira fase entre 1900 e 1960, a segunda fase entre os censos de 1960 e 1981 e a terceira fase de 1981 até aos últimos censos (2011)¹⁸. A primeira fase caracteriza-se com o concelho do Porto a assumir-se como o principal foco populacional enquanto a periferia tinha ganhos constantes de população se bem que a um ritmo inferior ao do Porto, como se pode ver pelo declive das retas. Mesmo com o Porto a extravasar os limites da cidade, esta expansão era feita ao longo das

¹⁸ Os Censos à População realizam-se de 10 em 10 anos em Portugal se bem que são disponibilizadas estimativas anualmente.

principais vias de comunicação, ficando por preencher os “interstícios” da cidade¹⁹, ocupação essa que só foi potenciada com a generalização do uso do automóvel e o aparecimento do autocarro, que possuíam percursos mais flexíveis que os elétricos (Pacheco, 1992, p. 6). Na área administrativa do concelho do Porto a expansão ocorria ao ritmo da industrialização das freguesias, com a população a fixar-se perto dos locais de trabalho (F. L. d. Matos, 1994, p. 12).

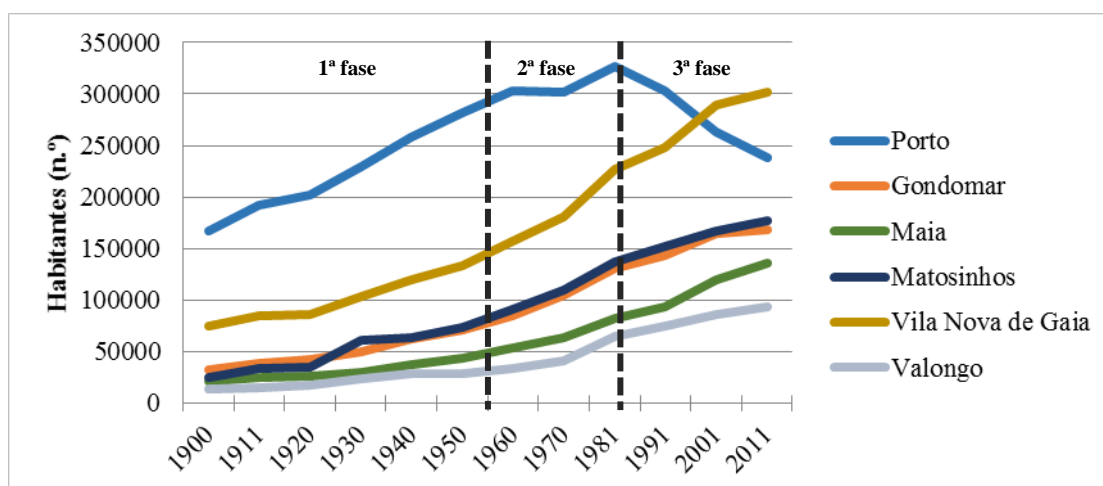


Figura 11 – Variação Absoluta da População Residente no concelho do Porto e arredores, entre 1900 e 2011. Fonte: INE e Recenseamentos Gerais da População, 1900 a 2011.

A década de 60 representa claramente um corte temporal deste percurso analítico. A partir dessa década, o concelho do Porto estagnou em termos populacionais e a lógica evolutiva dos concelhos periféricos intensificou-se. Com isto, pode-se afirmar que os concelhos adjacentes ao Porto assumiram um papel importante na captação de “efeitos excêntricos, (...) promovidos ou não a partir do seu centro urbano principal” (Vázquez, 1992, p. 263).

¹⁹ “(...) Mas, o solo que não está ocupado pelas ruas e pelas casas reparte-se nos mesmo campos e nas mesmas bouças; e até a vinha de enforcado não raro se vê em quintais dentro do Porto” (Ribeiro, 1945, p. 223)

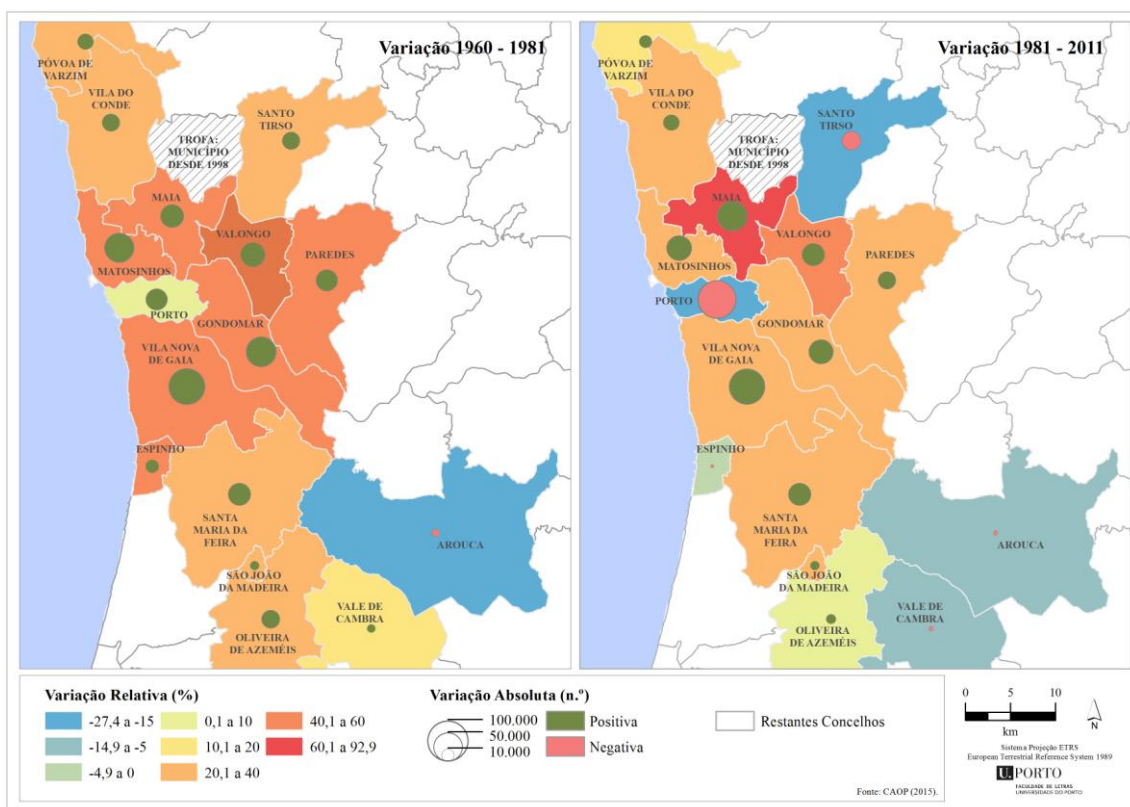


Figura 12 – Variação Absoluta e Relativa da População Residente na AMP (1960-1981-2011).
Fonte: INE, PORDATA (2011)

A evolução mais recente do Porto e dos concelhos na sua envolvente apresenta grandes diferenças em relação às épocas anteriores, intensificando-se as tendências do crescimento descentralizado da população e do reforço do processo de periferização, que consagraram o Porto “como o centro estruturante do desenvolvimento territorial dos concelhos que lhe são periféricos” (Vázquez, 1992, p. 260). A partir de 1981 o Porto começa a registar perdas populacionais enquanto todos os concelhos limítrofes assinalaram resultados positivos de variação da população residente. Um facto digno de nota é a ascensão de Vila Nova de Gaia que ultrapassou o Porto em valores absolutos de população residente já nos Censos de 2001, aumentando essa diferença no último registo censitário. A busca por terrenos livres por parte da construção civil, tanto para zonas habitacionais como para a indústria, fez com que a malha mais antiga “congelasse”, tornando as habitações da periferia da cidade do Porto mais atrativas, tanto em condições de segurança e salubridade como em preço por metro quadrado, tal como se pode comprovar com a Figura 12, onde estão expostas as variações populacionais entre 1960 e 1981 e entre 1981 e 2011, em termos absolutos e relativos. Na Figura 13, observa-se que os

edifícios que ficam dentro do anel formado pela Via de Cintura Interna foram maioritariamente construídos antes de 1980, com especial foco para o setor Este da Rotunda da Boavista.

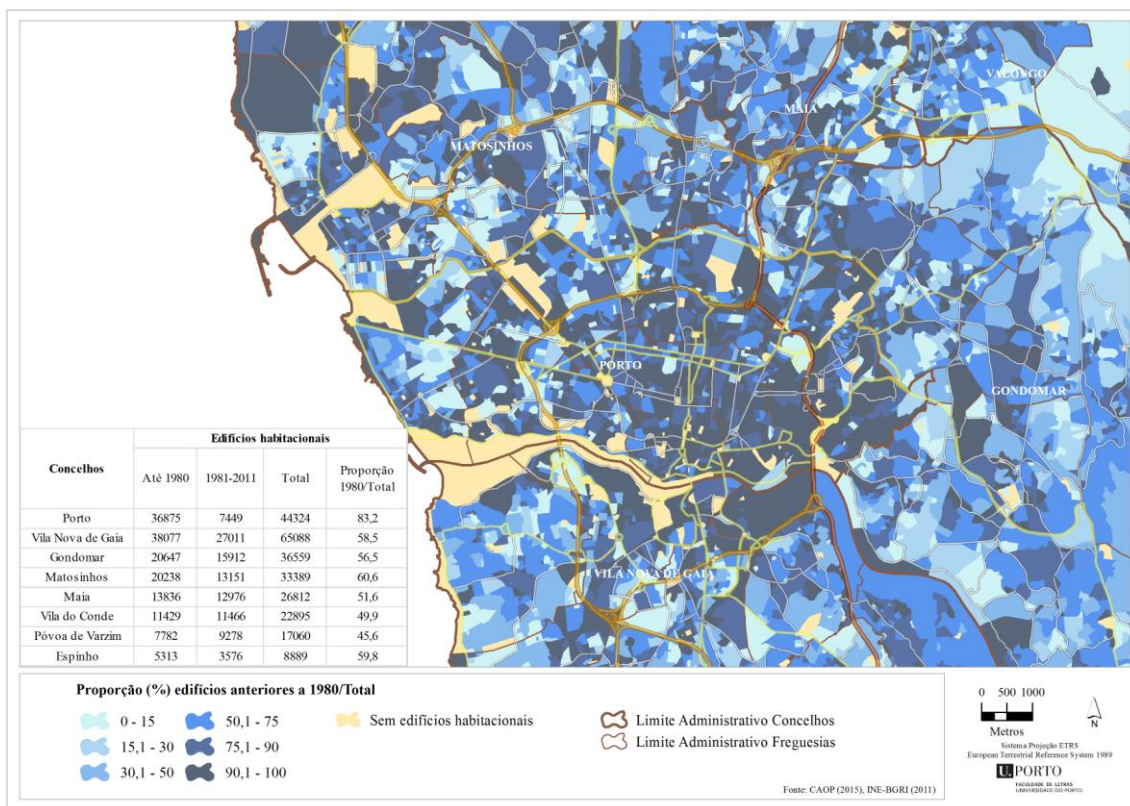


Figura 13 – Proporção de edifícios habitacionais construídos antes de 1980 sobre o total de edifícios construídos até 2011, à subsecção. Fonte: INE-BGRI (2011).

4.3. Relação do Porto com a sua envolvente: fluxos populacionais

A necessidade de deslocação, mais concretamente aquela que realizamos no nosso quotidiano, mostra a forma como nos relacionamos com a cidade e os espaços que frequentamos diariamente. Com a expansão da mancha urbana os padrões de mobilidade alteraram-se, aumentando em número e também em variedade (Vieira, 2008, p. 21). Para isso, foi criado um código em *Python* que permitisse espacializar esses movimentos pendulares diários.

A construção do código em *Python* pressupõe várias fases de configuração mas o objetivo deve ser definido à partida. Abstraindo do propósito, o *script* serve para ligar dois pontos através da distância euclidiana, isto é, através da linha que representa a menor distância: a linha reta. A primeira fase do *script* é a definição dos *inputs*, ou seja, a determinação dos dados que vão ser precisos para iniciar o comando. A segunda fase, é a criação da estrutura do *script* numa

aplicação do tipo IDE²⁰ (que neste caso foi o *software* Eclipse) e a forma como os resultados são mostrados (*outputs*). A terceira fase é a correta parametrização da ferramenta de modo a ser compatível com o ArcGIS.

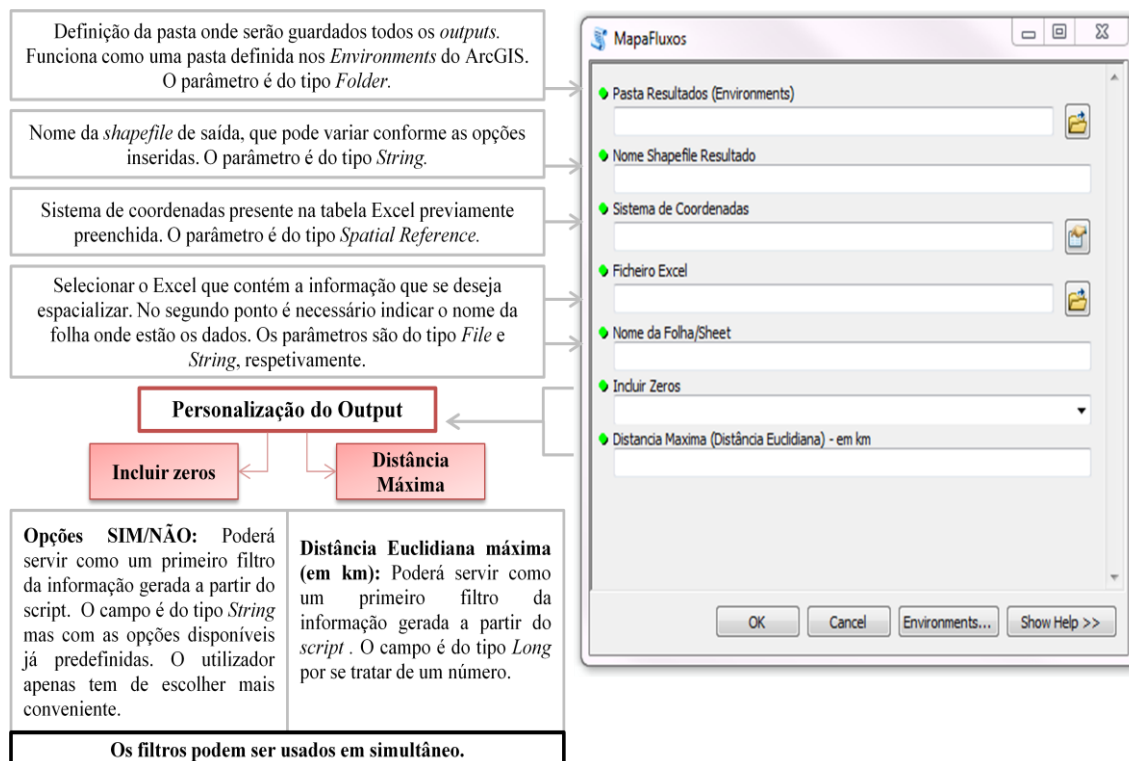


Figura 14 – Parametrização da ferramenta de representação dos fluxos populacionais e visualização da interface com o utilizador. Elaboração Própria.

Para a representação da população flutuante²¹ foram usados os dados dos Censos 2011 com a população residente empregada ou estudante e o local de trabalho ou de estudo. Estes são os únicos dados disponibilizados pelo INE que permitem compreender quais são os movimentos pendulares dominantes entre núcleos populacionais e qual a sua origem e destino, de freguesias para concelhos ou de concelhos para concelhos. Na plataforma *online* do INE os dados relativos aos movimentos pendulares apenas estão até à escala de município, não sendo possível distinguir entre o que é origem e o que é destino e, por isso, optou-se pela utilização dos dados referidos anteriormente. As tabelas obtidas através do INE, necessitaram de um tratamento exaustivo, de modo a que ficasse compatível com o *script* desenvolvido. Para isso, foi criada

²⁰ *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado

²¹ População que reside num determinado concelho e se desloca para outro(s) a fim de exercer a sua atividade quotidiana.

uma Macro²² para a obtenção de todas as combinações possíveis “origem-destino” disponíveis na tabela dinâmica.

```
Sub correspXY()
    aux = 1
    For i = 3 To 17
        For j = 3 To 128
            Worksheets("Folha1").Cells(aux, 1) = Worksheets("Quadro-partel").Cells(i, 2)
            Worksheets("Folha1").Cells(aux, 2) = Worksheets("Quadro-partel").Cells(2, j)
            Worksheets("Folha1").Cells(aux, 3) = Worksheets("Quadro-partel").Cells(i, j)
            aux = aux + 1
        Next
    Next
End Sub
```

Figura 15 – Macro desenvolvida para obtenção de todos os pares origem-destino

De modo a conseguir espacializar em formato de linhas, foi associado a cada código do concelho (“DICO”) e a cada código da freguesia (“DICOFRE”) as coordenadas x e y dos centróides da área administrativa correspondente. O cálculo dos centróides foi efetuado via QuantumGIS. Os resultados obtidos estão expostos nas figuras seguintes.

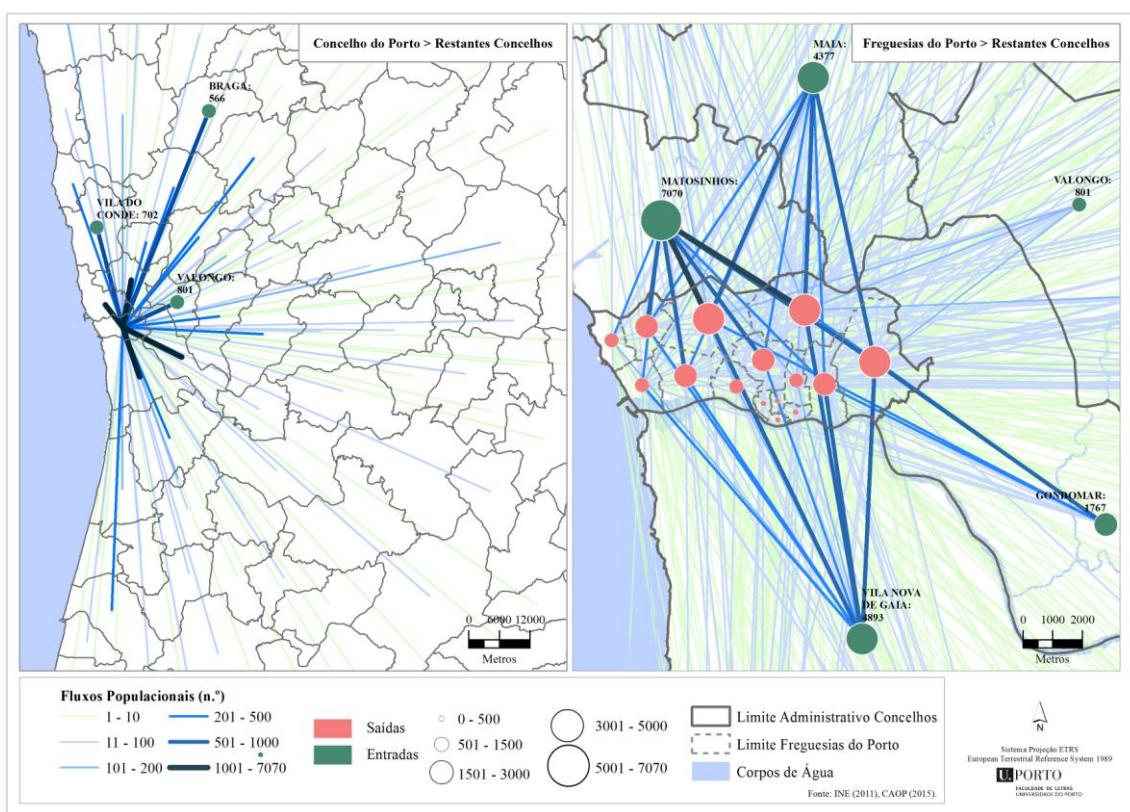


Figura 16 – Fluxos Populacionais da população residente empregada ou estudante, sentido Porto > Restantes Concelhos. Fonte: INE (2011)

²² Abreviação de macroinstrução. Serve para instruir o computador, de um padrão, de modo a executar a sequência definida, podendo ser reutilizada.

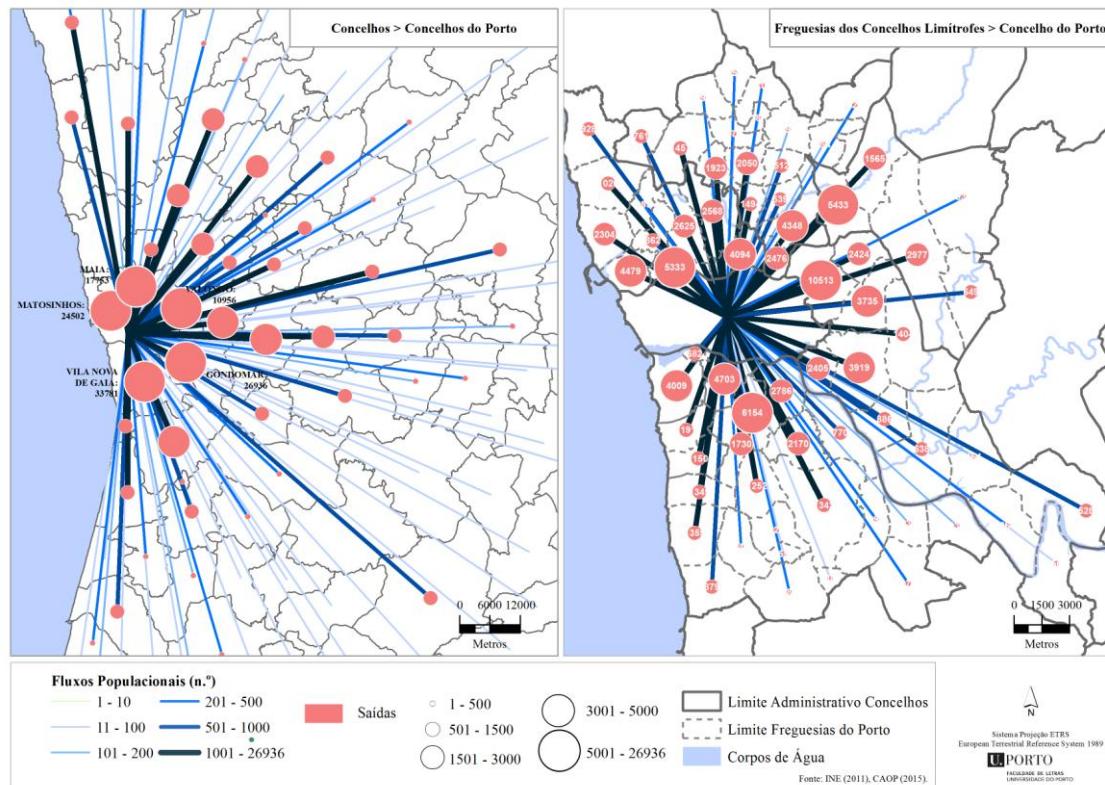


Figura 17 – Fluxos populacionais da população residente empregada ou estudante, sentido Restantes Concelhos > Concelho do Porto. Fonte: INE (2011).

Do ponto de vista geral, as figuras Figura 16 e Figura 17, permitem evidenciar o papel dominante do concelho do Porto como principal polo de atração, tanto para a população empregada como para a estudante. Admitindo um raio de 100 km²³ em volta do concelho Porto, relacionam-se com este 159753 pessoas, sendo que só os concelhos limítrofes (Gondomar, Maia, Matosinhos, Valongo e Vila Nova de Gaia) perfazem 113928 pessoas. Apesar destes valores não mostrarem com precisão as pessoas que realizam a viagem diária “casa-escola” ou “casa-trabalho”, principalmente nos concelhos mais afastados, este é um valor muito próximo do real. As figuras apenas mostram os movimentos do concelho do Porto de si e para si. Contudo a AMP assume-se cada vez mais como uma área policêntrica, sendo possível evidenciar-se pela evolução das ligações de autocarro exteriores ao Porto (Pacheco, 1992, p. 96).

Ao nível das deslocações com origem no Porto para outros concelhos, destaca-se que a maior parte da população que realiza este movimento diário encontra-se nas freguesias do Porto que estão adjacentes a esses concelhos, com especial destaque para as freguesias de Paranhos e

²³ Valor que foi inserido no filtro disponível no *script* desenvolvido.

Ramalde que são as que dão o maior contributo para as 7070 pessoas que residem no Porto mas que trabalham em Matosinhos. Nos restantes concelhos vizinhos os valores são similares, à exceção de Valongo que, de facto, assume um papel mais periférico e de carácter mais residencial. É por isso que os concelhos contíguos ao Porto são inúmeras vezes apelidados de “cidades dormitório”, isto é, zonas de cariz maioritariamente residencial e relativamente longe do local de trabalho e com “*elevado grau de dependência*”(A. L. T. S. Fonseca, 1998, p. 25) em relação ao principal centro urbano.

Mesmo com a relativa descentralização do emprego, o concelho do Porto assume-se como o principal polo gerador de emprego da AMP e, segundo dados do IEFP/MSESS recolhidos através da plataforma do PORDATA, em 2014, surgiram 430 mil ofertas de emprego nos centros de emprego e formação profissional para o setor terciário analisando somente o concelho do Porto. Posto isto, pode dizer-se que o Porto afirma-se como o grande polo de atração de emprego, com os concelhos que lhe são adjacentes a serem os principais territórios com quem o Porto se relaciona, com destaque para os municípios de Vila Nova de Gaia, Gondomar e Valongo, que se caracterizam por terem marcadamente uma função residencial, com a população residente ativa a ultrapassar amplamente o emprego no interior do seu território (Vieira, 2008, p. 49).

As relações do concelho do Porto estendem-se muito mais a norte do que a sul do concelho. Estas diferenças explicam-se através das áreas de fixação da população e das facilidades de mobilidade entre o Porto e os restantes concelhos, podendo ser, em parte, explicada pela área de abrangência dos suburbanos ferroviários do Porto, que a norte chegam a Braga/Nine, Guimarães e Caíde, enquanto a sul resume-se a uma linha ao longo da costa litoral, passando por Espinho, até Aveiro. Quanto a Santa Maria da Feira, o valor apresentado deve-se aos bons acessos viários à cidade do Porto, contando com a A32 a nascente e a A1 a poente do principal núcleo populacional do concelho, que fica a menos de 30 minutos de carro da cidade do Porto.

Vázquez (1992) argumenta que a evolução espacial do Grande Porto²⁴ desde 1960 tem três traços característicos: (1) o importante posicionamento e concentração das atividades terciárias no centro urbano principal, ou seja, no Porto; (2) a dominante periferização espacial do emprego industrial; (3) a ampliação da funcionalidade residencial dos concelhos periféricos.

No que toca aos movimentos pendulares é pertinente examinar o caso dos estudantes,

²⁴ Constituído por 11 concelhos: Porto, Gondomar, Maia, Matosinhos, Vila Nova de Gaia, Valongo, Espinho, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa e Vila do Conde.

separando-os da população empregada. Olhando para as figuras Figura 18 e Figura 19 é notória a diferença entre entradas e saídas no concelho do Porto no que toca a estudantes. O Porto assume-se claramente como um polo de atração de muitos estudantes, em grande parte devido à presença da Universidade do Porto, que se espalha por três polos pela área administrativa (Polo da Asprela, Polo do Campo Alegre e Centro da Cidade). À semelhança do apresentado na análise dos trabalhadores e estudantes, a maioria dos estudantes são provenientes dos concelhos contíguos, com Vila Nova de Gaia a destacar-se com 7769 estudantes, seguindo-se Matosinhos com 6865 e Gondomar com 6431. Por último, é de realçar a dependência da freguesia de Rio Tinto (Gondomar) que surge, tanto no total como nos estudantes, como a freguesia que mais trabalhadores e estudantes fornece ao Porto, em grande parte explicada por estar adjacente ao Porto, pela relativa proximidade ao Polo da Asprela e pela presença de vários meios de transporte (autocarros STCP, ETG e VALPI, Linha F ou Laranja do Metro do Porto e suburbanos ferroviários do Porto).

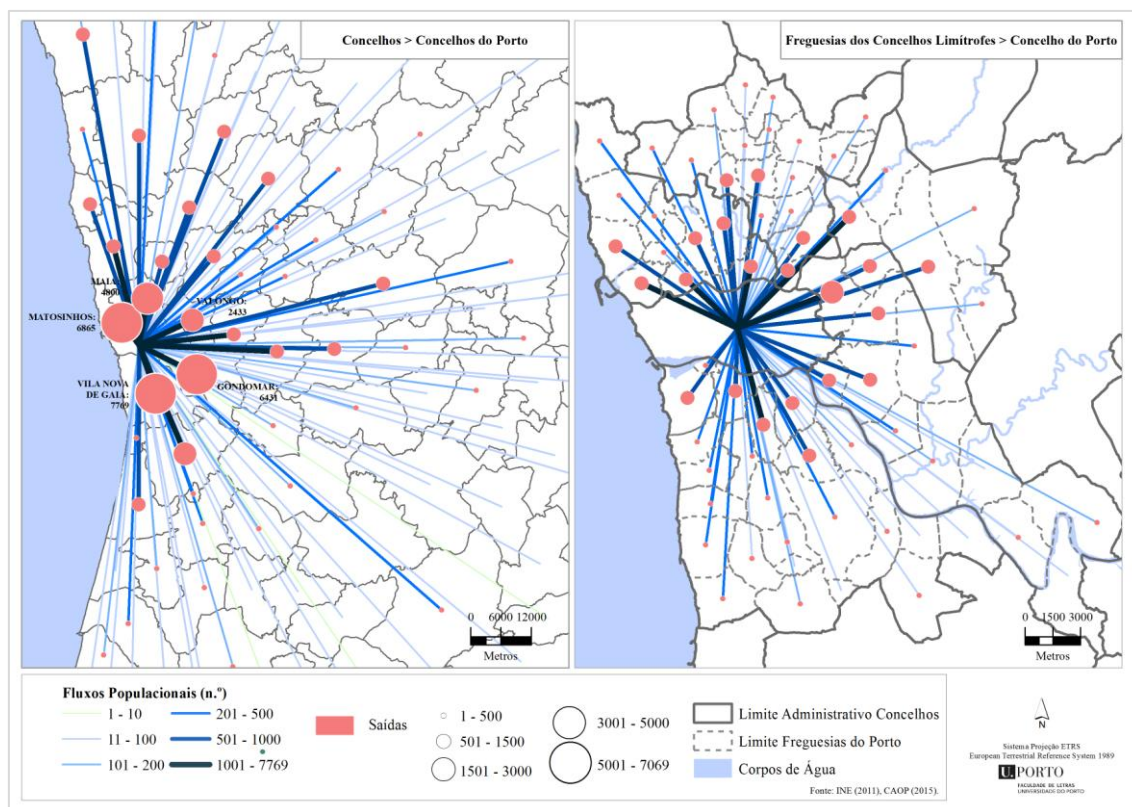


Figura 18 – Fluxos populacionais da população residente estudante, sentido Restantes Concelhos > Concelho do Porto. Fonte: INE (2011).

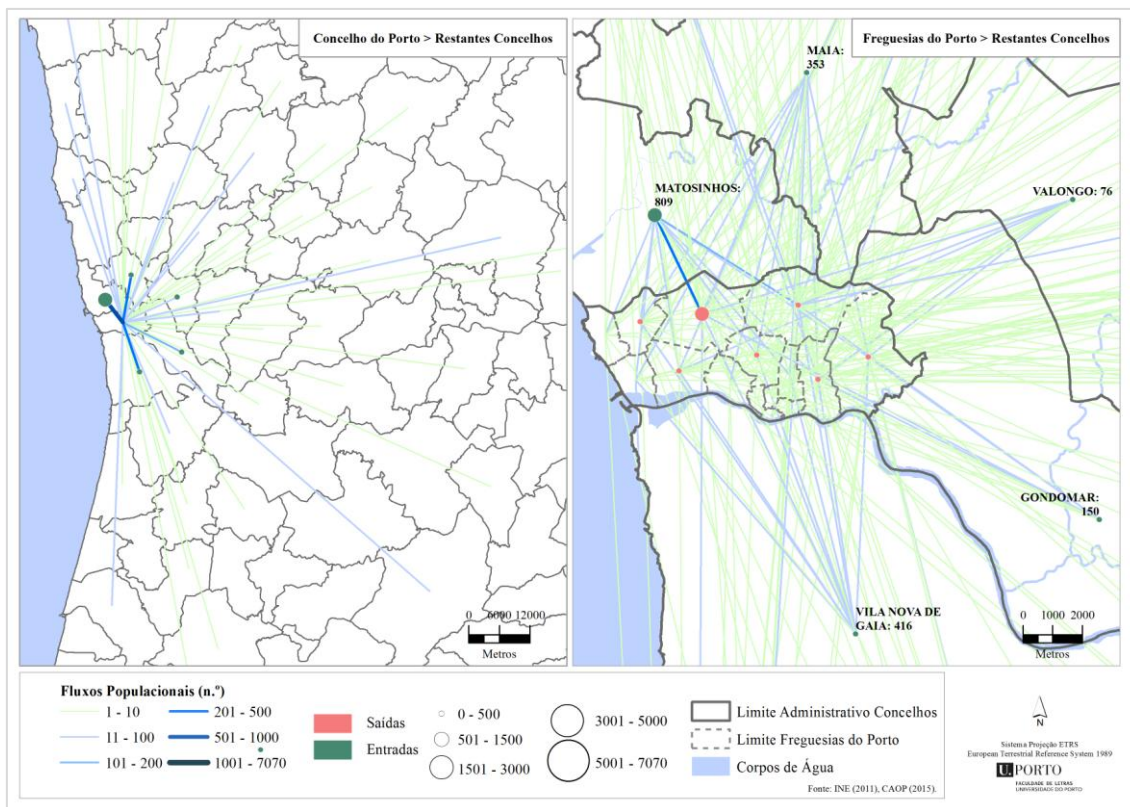


Figura 19 – Fluxos populacionais da população residente estudante, sentido Porto > Restantes Concelhos

Mas não é apenas a Universidade do Porto que contribui para estes números. Nas últimas décadas o número de famílias aumentou, alterando-se também o perfil das mesmas que levarão a mudanças nas dinâmicas sociais e nos seus padrões de mobilidade²⁵, que por conseguinte acarretou o aumento de transporte dos filhos, tanto em transporte individual como em transporte coletivo, sem que sejam necessariamente próximos de casa. Assim sendo, será de facto essencial avaliar a acessibilidade às escolas e faculdades existentes no concelho do Porto e qual é a escolha modal efetuada pela população de modo a potenciar a escolha pelo transporte coletivo de passageiros e, assim, promover uma mobilidade urbana mais sustentável.

4.4. O Sistema de Transportes Rodoviário de Passageiros

4.4.1. A Oferta: Frequências e tempos de deslocação

O Sistema de Transportes rodoviários de passageiros que serve a cidade do Porto é uma rede multimodal do domínio público e privado, contando atualmente com várias empresas do setor rodoviário, metro ligeiro e comboios. A nova realidade da AMP foi provocada não só pelo

²⁵ Por exemplo das viagens com perfil “casa-escola-trabalho”.

aparecimento de uma rede de metro, mas pelo facto de se pretender criar um sistema de transportes totalmente intermodal, cujo protagonista é o Andante.

O sistema Andante funciona como um passe que depende apenas do trajeto a efetuar e não do modo de transporte que se utiliza ou do número de transbordos que se efetua. É um tarifário comum a vários tipos de transporte, permitindo melhorar a oferta e incrementar a mobilidade dos utilizadores. Este tarifário permite usufruir no setor rodoviário de um leque de linhas da STCP, Resende, Espírito Santo, Maia Transportes, E.T. Gondomarense, MGC, Nogueira da Costa e Auto-Viação Pacense e, ainda, toda a rede do Metro do Porto e, em parte, dos suburbanos do Porto, bem como a ligação entre a Ribeira e a Batalha proporcionada pelo Funicular dos Guindais.

A Tabela 3 resume a operação efetuada por cada um dos operadores de transporte, os concelhos onde opera e os quilómetros de rede dentro e fora do concelho do Porto. A leitura da tabela permite perceber que o principal operador na cidade, tal como foi estipulado no Decreto-lei nº202/94, é a Sociedade de Transportes Coletivos do Porto²⁶ (STCP). Os restantes operadores realizam alguns serviços no interior do concelho do Porto, fazendo ligação até aos principais interfaces de transportes, tais como Avenida dos Aliados, Trindade, Bolhão (na Rua Alexandre Braga), Boavista – Bom Sucesso, Boavista – Casa da Música e Marquês, resultando numa sobreposição das suas redes com a da STCP. Apenas 12 km de rede viária são realizados exclusivamente por operadores privados no interior do concelho do Porto. Isto pode não resultar numa melhoria da qualidade do serviço público dado que a oferta não está organizada de forma conjunta, isto é, os horários não estão cadenciados, podendo não resultar em diminuição dos tempos de espera. Silva (2004) demonstrou como no caso da STCP é essencial criar pontos de transbordo e como esta implementação permitiria melhorar a eficiência da rede de transportes que serve a cidade.

²⁶ Sociedade Anónima de capitais 100% público, se bem que encontra-se atualmente em discussão a privatização/concessão da STCP, bem como da Metro do Porto, por 10 anos.

Tabela 3 – Os operadores da Rede Andante e os concelhos que servem

Rede Andante					
Operador	Linhas (nº)	Rede em km	Rede em km no Porto	Principal concelho que serve	Concelhos limítrofes onde operam
STCP	72 ⁽¹⁾	526	208	Porto	Matosinhos, Maia, Valongo, Gondomar, Vila Nova de Gaia.
Resende	5 ⁽²⁾	130	24	Matosinhos	Matosinhos, Maia, Valongo, Gondomar (só na Estrada da Circunvalação).
Maia Transportes	1 ⁽²⁾	26	0	Maia	Maia, Valongo
ETG	21 ⁽²⁾	238	54	Gondomar	Gondomar, Valongo, Maia
VALPI	8 ⁽²⁾	163	32	Gondomar/Valongo	Gondomar, Valongo, Maia, Matosinhos
MGC	2 ⁽²⁾	14	2	Vila Nova de Gaia	Vila Nova de Gaia
JES	17 ⁽²⁾	88	8	Vila Nova de Gaia	Vila Nova de Gaia
Nogueira da Costa	1 ⁽²⁾	6	0	Maia	Maia
Auto-Viação Pacense	1 ⁽²⁾	16	0	-	Valongo
Metro do Porto	6	67	18	Porto	Gondomar, Vila Nova de Gaia, Matosinhos, Maia, Vila do Conde, Póvoa de Varzim
CP	4 ⁽³⁾	46 ⁽⁴⁾	7	-	Gondomar, Vila Nova de Gaia, Valongo, Maia
Rede Viária coberta		831 ⁽⁵⁾	220 ⁽⁵⁾	-	-

(1) Inclui Elétricos (3) e Linhas Madrugada (11).

(2) Só as linhas que fazem parte no tarifário Andante.

(3) Até à estação de Valongo na linha de Marco de Canavezes, até Ermesinde nas linhas de Braga e Guimarães e até Espinho na linha de Aveiro.

(4) Extensão só no Porto e concelhos na sua envolvente.

(5) Os totais não coincidem com a soma dos totais de cada rede porque há sobreposição de redes

Recolhida a informação sobre as linhas de cada um dos operadores integrados no tarifário Andante, uma das formas de avaliar se a oferta existente é suficiente, é a representação em ambiente SIG, do número de circulações por eixo viário. Antes de mais, foi necessário desenhar todas as variantes de cada linha, em ambos os sentidos. De seguida, procedeu-se à recolha do

número de circulações de cada uma das linhas. De modo a não tornar esta tarefa hercúlea, foram recolhidas as circulações para os principais intervalos de procura de transportes. Consultando o Inquérito à Mobilidade da População Residente (2000), na AMP, os principais intervalos das deslocações “casa-trabalho” são entre as 7h e as 9h. Para o período da tarde foram recolhidas as circulações entre as 16h30 e as 19h, em dias úteis do período escolar.

Para a representação do número de circulações por eixo viário foi criada uma metodologia com recurso a programação em *Python*. A configuração e parametrização do *script* para a incorporação na *ArcToolbox* do ArcGIS está representada na figura seguinte.

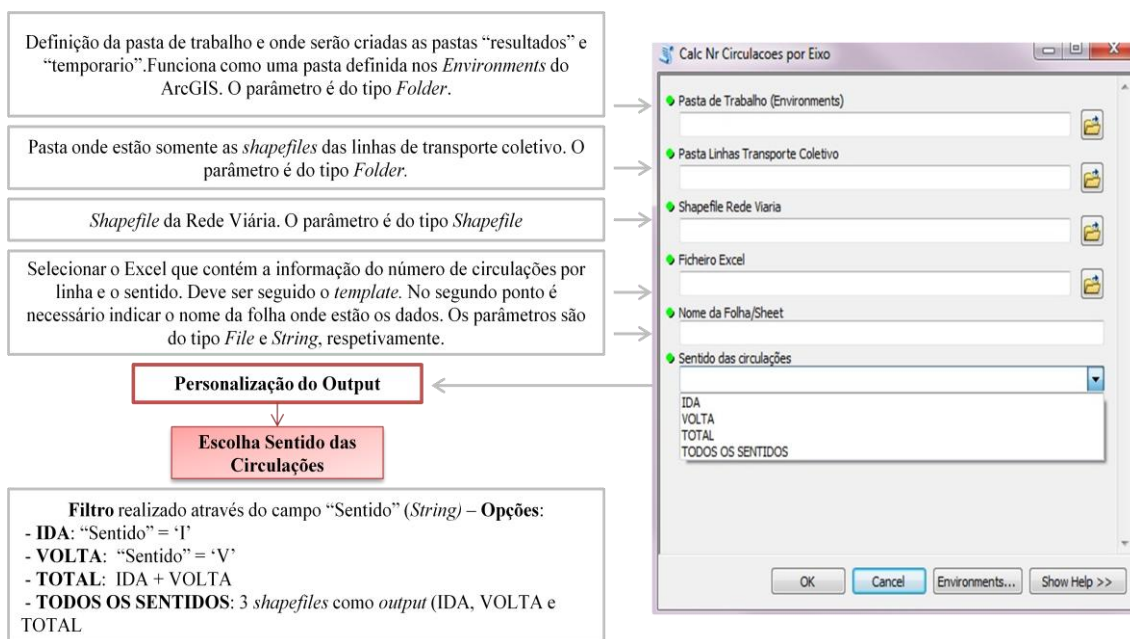


Figura 20 – Parametrização da ferramenta de representação dos fluxos populacionais e visualização da interface com o utilizador. Elaboração Própria.

Uma das grandes vantagens de desenvolver o *script* num ambiente IDE é a possibilidade de utilização de “bibliotecas” para além da do *Arcpy*, algo que não é possível, por exemplo, no *Model Builder*. Neste código são utilizados os módulos “*os*”²⁷ e “*shutil*”²⁸ para o tratamento e manipulação de pastas e ficheiros. À medida que o código vai processando as *shapefiles*, vão sendo apresentadas mensagens no interface do ArcGIS, de modo a orientar o utilizador da fase em que o código está em cada momento.

O *script* desenvolvido no Eclipse contempla 114 linhas de código. No ambiente de

²⁷ “*os*” – Operating System, ou Sistema Operativo. Módulo de interface com o sistema operativo do computador.

²⁸ Este módulo é similar ao “*os*”. Contém funções de suporte ao tratamento de ficheiros, tais como copiar ou remover ficheiros.

trabalho, o *Environment* definido no primeiro parâmetro, são criadas duas pastas: “resultados” e “temporario”. A pasta “temporario” armazena as *shapefiles* de comandos intermédios ao *output* final. Na pasta “resultados” estão os *outputs* finais conforme a personalização definida pelo utilizador. Para a definição do “sentido de circulações” foi necessário recorrer a uma estrutura condicional de *if*'s, como é demonstrado na figura seguinte. O código ficou concluído em todos os casos em menos de 50 minutos, após o processamento das 321 *shapefiles*. Caso o processo fosse executado manualmente, passo a passo, demoraria dias.

```

86 try:
87     if SENTIDOV == str("TOTAL"):
88         arcpy.Dissolve_management("Merge_Linhas.shp", "NrCirc_Total.shp", "COD_ID", [{"T_HPM", "SUM"}, {"T_HPA", "SUM"}, {"T_HPT", "SUM"}])
89         arcpy.AddMessage("Numero Circulacoes total calculado")
90     elif SENTIDOV == str("IDA"):
91         arcpy.MakeFeatureLayer_management("Merge_Linhas.shp", "temp.Lyr", "T_sent" = 'I')
92         arcpy.Dissolve_management("temp.Lyr", "NrCirc_IDA.shp", "COD_ID", [{"T_HPM", "SUM"}, {"T_HPA", "SUM"}, {"T_HPT", "SUM"}])
93         arcpy.AddMessage("Numero Circulacoes ida calculado")
94     elif SENTIDOV == str("VOLTA"):
95         arcpy.MakeFeatureLayer_management("Merge_Linhas.shp", "temp.Lyr", "T_sent" = 'V')
96         arcpy.Dissolve_management("temp.Lyr", "NrCirc_VOLTA.shp", "COD_ID", [{"T_HPM", "SUM"}, {"T_HPA", "SUM"}, {"T_HPT", "SUM"}])
97         arcpy.AddMessage("Numero Circulacoes volta calculado")
98     elif SENTIDOV == str("TODOS OS SENTIDOS"):
99         arcpy.Dissolve_management("Merge_Linhas.shp", "NrCirc_Total.shp", "COD_ID", [{"T_HPM", "SUM"}, {"T_HPA", "SUM"}, {"T_HPT", "SUM"}])
100        arcpy.AddMessage("Numero Circulacoes total calculado")
101        arcpy.MakeFeatureLayer_management("Merge_Linhas.shp", "tempi.Lyr", "T_sent" = 'I')
102        arcpy.Dissolve_management("tempi.Lyr", "NrCirc_IDA.shp", "COD_ID", [{"T_HPM", "SUM"}, {"T_HPA", "SUM"}, {"T_HPT", "SUM"}])
103        arcpy.AddMessage("NumeroAo Circulacoes ida calculado")
104        arcpy.MakeFeatureLayer_management("Merge_Linhas.shp", "tempv.Lyr", "T_sent" = 'V')
105        arcpy.Dissolve_management("tempv.Lyr", "NrCirc_VOLTA.shp", "COD_ID", [{"T_HPM", "SUM"}, {"T_HPA", "SUM"}, {"T_HPT", "SUM"}])
106        arcpy.AddMessage("Numero Circulacoes volta calculado")
107     else:
108         arcpy.AddWarning("ERRO! ESCOLHE UM SENTIDO VALIDO!")
109 except:
110     print arcpy.GetMessages()

```

Figura 21 – Estrutura condicional (“if”) do parâmetro relativo ao sentido das circulações (excerto do script)

Assim sendo, os seguintes mapas pretendem representar a globalidade da oferta de transportes coletivos integrantes na modalidade Andante, dando possibilidade de analisar frequências das linhas, a cobertura territorial e quais os principais corredores de ligação aos concelhos limítrofes. Para além disso, permite análises posteriores à caracterização dos principais “canais” de transporte, como por exemplo, a afetação das categorias dos eixos à população residente nas suas proximidades.

Como já foi dito anteriormente, as figuras 22 e 23 demonstram o número de circulações por eixo viário na hora de ponta da manhã (7.00h – 9.00h) e na hora de ponta da tarde (17.00h – 19.00h). Decidiu-se separar a soma das circulações entre idas e voltas porque, para este caso específico é mais correta esta segmentação, visto que caso se somasse as circulações das idas e voltas alguns eixos viários apresentariam valores irreais de frequências.

Posto isto, vai ser possível identificar quais os principais centros de transportes, tanto no concelho do Porto como na periferia e ter uma ideia do número de circulações disponíveis no

intervalo de tempo definido. Para a hora de ponta da manhã, optou-se por analisar as linhas no sentido “VOLTA”, isto é, da periferia para o Porto. Tal como ficou demonstrado através dos fluxos populacionais, nomeadamente na Figura 17, a maioria dos movimentos “casa-trabalho” acontecem no sentido “periferia-Porto”.

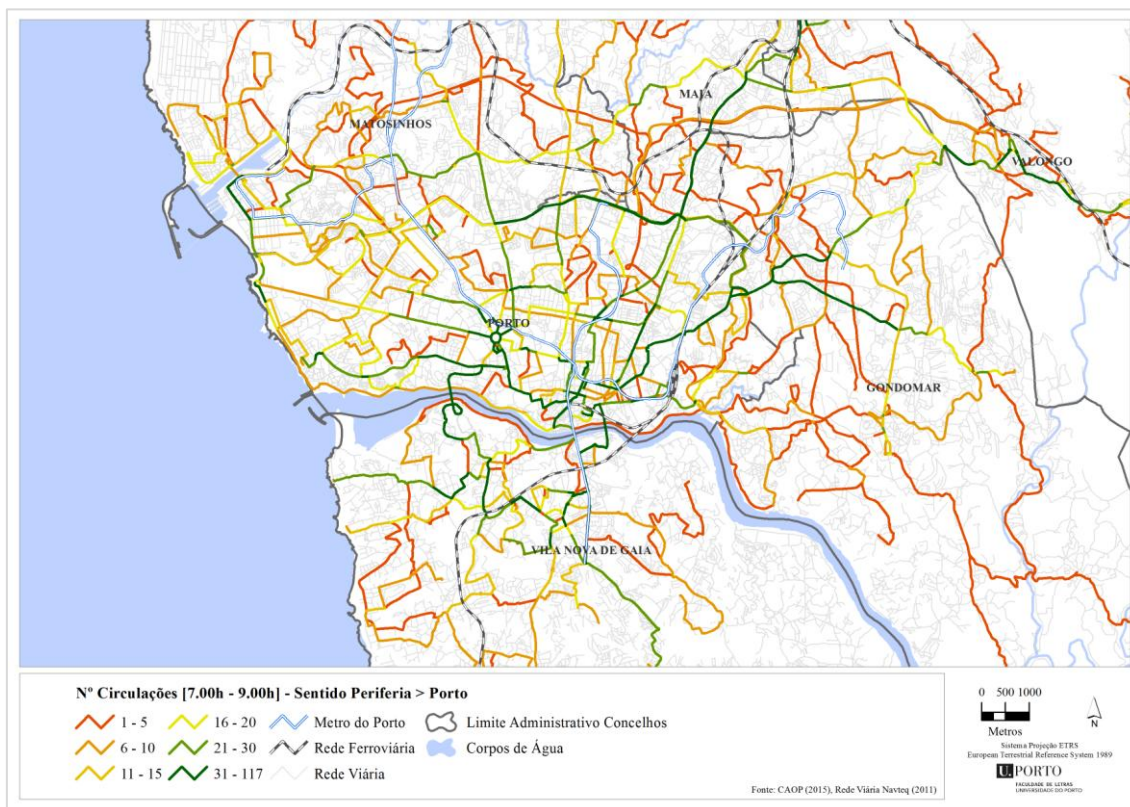


Figura 22 – Número de circulações de transporte coletivo da Rede Andante, na hora de ponta da manhã, sentido periferia-Porto

Antes de qualquer análise sobre os valores apresentados, é possível observar que a Rede Andante cobre generalizadamente toda a área do concelho do Porto, sendo perceptíveis algumas ligações interconcelhias e exteriores ao Porto no território a norte do concelho, especificamente ligações entre Matosinhos, Maia e Valongo. Quanto ao município de Gondomar, as ligações concessionadas pela STCP, ETG e VALPI concentram-se na parte norte do concelho, nas freguesias detentoras de mais trabalhadores e estudantes que diariamente se deslocam para o Porto, nomeadamente Rio Tinto, Baguim e Fânzeres. A sul da sede concelhia de Gondomar a rede é escassa, tratando-se de um território menos denso onde, como se comprovou através dos fluxos populacionais, a atração pela cidade do Porto não se faz sentir tanto.

Na margem sul do rio Douro, Vila Nova de Gaia tem uma concentração maior junto à faixa litoral e no núcleo mais antigo. A parte este e sudeste não tem qualquer linha pertencente

ao Andante. Essa área de Vila Nova de Gaia está concessionada à MGC que apenas tem duas linhas integradas no tarifário Andante.

Analisando a Figura 22 é possível observar grandes discrepâncias ao longo do concelho do Porto, como já seria de esperar. Na área central do Porto, a maior oferta de transportes coletivos ocorre entre a Casa da Música e a Cordoaria registando-se mais de 100 autocarros junto à rotunda da Boavista no espaço temporal de 2 horas! É perceptível que as linhas estão a confluir à área mais central do Porto, em redor da Avenida dos Aliados.

Um dos eixos que está bem vincado é a ligação entre a zona de São Roque da Lameira e a Rua Alexandre Braga, junto ao Mercado do Bolhão. A sobreposição das linhas da STCP com os operadores VALPI e E.T.G. proporcionam frequências de autocarros inferiores a 10 minutos²⁹, sendo o principal eixo de ligação com a área este da cidade e o concelho de Gondomar. Quanto ao concelho da Maia nota-se que existe um corredor principal ao longo da Rua D. Afonso Henriques, cruzando com o concelho do Porto junto ao viaduto da Areosa, repartindo as ligações entre a Estrada da Circunvalação (em direção ao Hospital de São João e pela Rua de Costa Cabral, esta segunda tendo como principal terminos a Praça do Marquês de Pombal. A rede concentra-se principalmente junto ao Fórum da Maia, no Padrão de Moreira e Alto da Maia.

Já a rede de Matosinhos é uma rede extensa que apresenta sobreposições dos operadores STCP, Resende e VALPI, podendo apresentar-se de certa forma desregulada. Os principais polos de oferta concentram-se junto ao Mercado de Matosinhos e do Norteshopping, fazendo ligação ao Porto pela Estrada da Circunvalação, pela Avenida da Boavista e ao longo do rio Douro.

Ainda a norte do concelho do Porto, a rede de Valongo é relativamente exígua, isto é, escassa na sua ligação com o Porto. A população tende a procurar os transportes junto à Estação e Câmara de Valongo.

Por último, mas não menos importante, a rede de Vila Nova de Gaia apresenta alguns constrangimentos físicos, com a rede a confluir à avenida mais movimentada do concelho: a Avenida da República. Dado que ainda não existe uma articulação com a rede do metro, que atualmente chega até Santo Ovídio, as linhas da MGC continuam a realizar serviço até à Praça da Batalha, utilizando a Ponte do Infante. Quanto à rede do Espírito Santo atravessa a ponte da Arrábida realizando serviço até ao interface da Casa da Música. Pelo tabuleiro inferior da Ponte

²⁹ Todos os eixos que têm uma tonalidade verde apresentam frequências inferiores a 10 minutos, ou seja, mais de 20 autocarros em menos de 2 horas.

D. Luís atravessam linhas da STCP (900, 901, 906 e 10M) e Espírito Santo (11, 16 e 27).

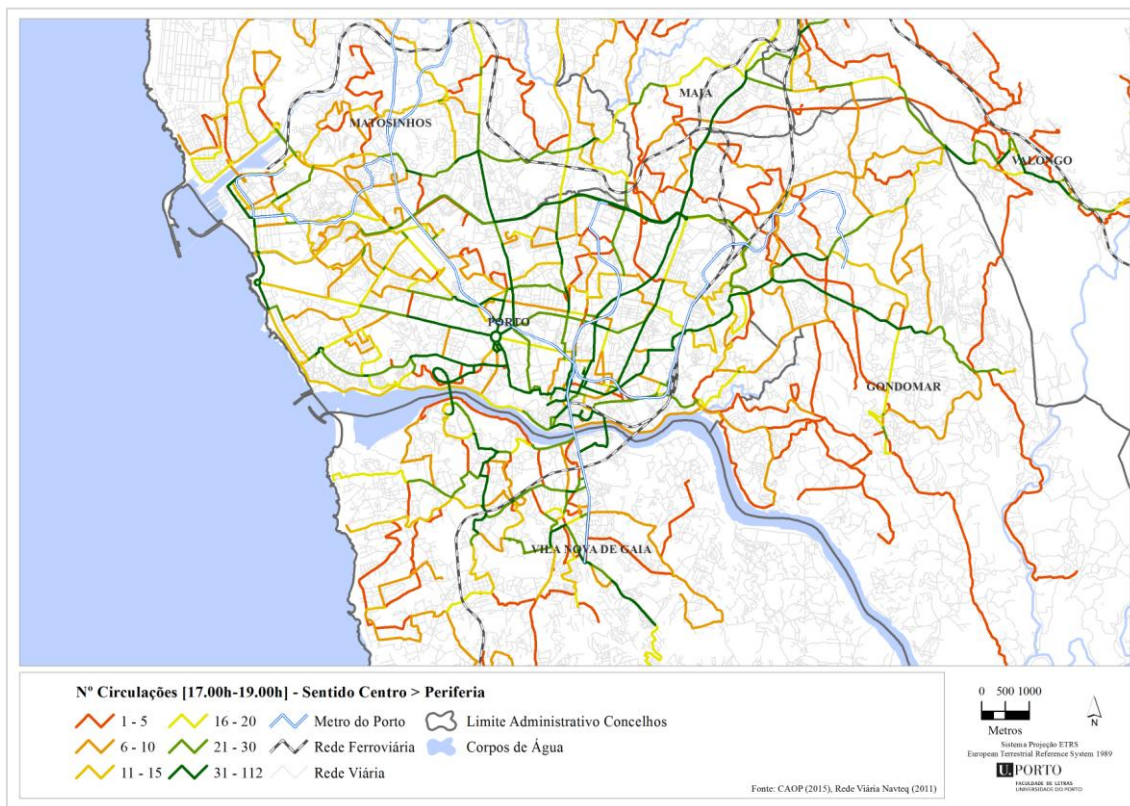


Figura 23 - Número de circulações de transporte coletivo da Rede Andante, na hora de ponta da tarde, sentido Porto-periferia

Situação análoga acontece no sentido inverso (Porto-Periferia), entre das 17.00h e as 19.00h, tal como era previsível. De certa forma os principais eixos coincidem com os fluxos populacionais que verificamos anteriormente. Dos principais corredores já enumerados anteriormente, o único que não se encontra “no verde” são as ligações na cota baixa da cidade, ao longo do rio Douro, podendo evidenciar uma oferta escassa na zona da Foz. Comparando as duas figuras anteriores, em alguns setores é possível observar que a oferta existente é maior no sentido de “regresso” a casa. Consultando a repartição dos motivos das deslocções por períodos horários no Grande Porto disponíveis no Inquérito à Mobilidade (2000), os motivos de deslocção de manhã são mais diversificados que à tarde. De manhã, mais concretamente no período entre as 7h e as 10h, 55% das viagens têm como o local de trabalho e cerca de 15% a escola. Já no período da tarde, entre as 17h e 20h, 75% das deslocções são motivadas pelo regresso a casa (p. 38).

Outra das formas de analisar a distribuição e cobertura espacial das linhas é a análise do número de circulações por linha mas associando o número de circulações pelas paragens de

cada uma das “espinhas”³⁰. Na Figura 24 é possível destacar as áreas centrais (que apresentam tons mais fortes) e aquelas que poderão ter um serviço insuficiente ou escasso, apresentando cores mais frias ou neutras. Para além de serem facilmente percecionadas quais são as áreas centrais, é possível destacar áreas que poderão ter um serviço insuficiente ou escasso, apresentando cores mais frias ou neutras. A técnica de interpolação usada na execução deste mapa é intitulada de *Inverse Distance Weighted* (IDW) que cria uma malha retangular em formato *raster* a partir de uma malha de pontos ou linhas (neste caso foram utilizados só pontos). O valor de cada célula é determinado através da média dos valores dos pontos mais próximos, usando os pesos (número de circulações neste caso) como função do inverso da distância. Este tipo de interpolação tem por base a Lei de Tobler³¹ dado que os pontos mais próximos têm pesos superiores aos pesos mais distantes em relação ao ponto que está a ser calculado (Longley, 2005, p. 334). Na análise que se segue é abordada a cobertura espacial do principal operador da cidade: os STCP. A técnica de interpolação foi executada utilizando o *software* QuantumGIS.

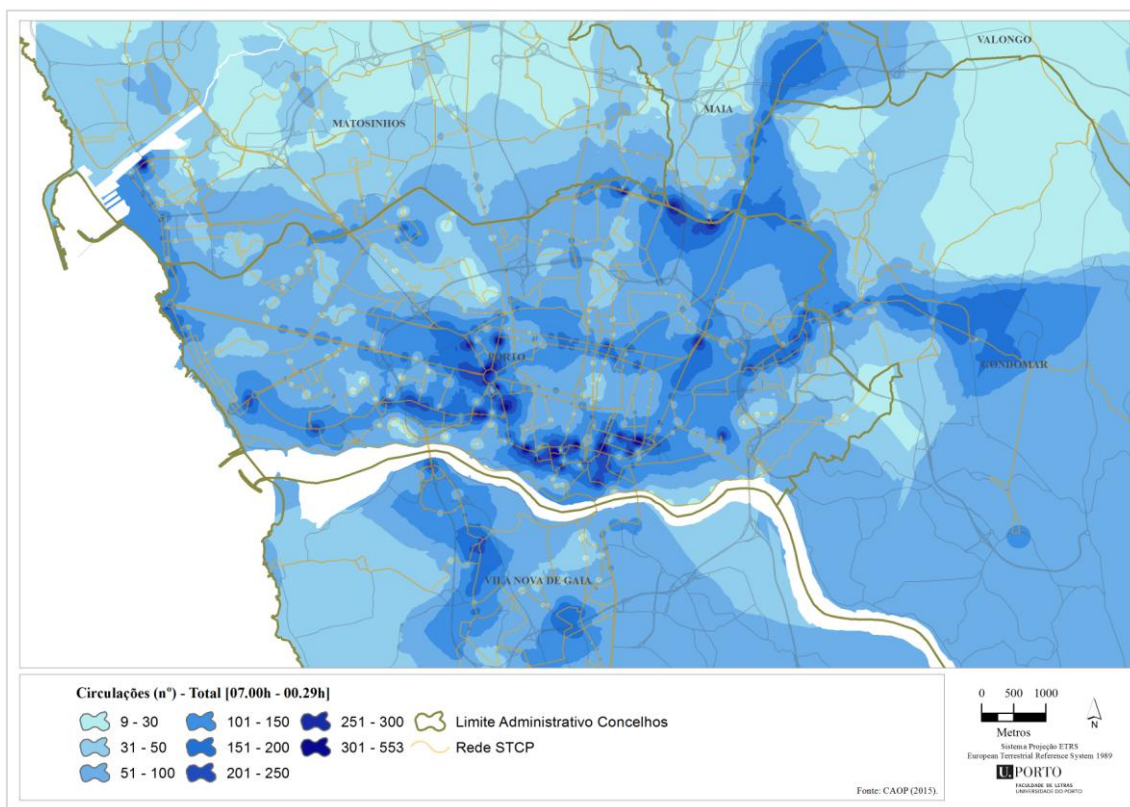


Figura 24 – Oferta de transporte coletivo: Interpolação segundo o inverso da distância (IDW).

³⁰ Refere-se ao trajeto realizado por cada linhas e as paragens que efetua ao longo do seu percurso.

³¹ Primeira, e única, lei da Geografia.

A Figura 24 permite evidenciar quais são os principais interfaces de transportes, analisando o total de circulações em cada paragem entre as 7.00h e as 00.29h. Na área central do Porto existem vários locais onde os autocarros confluem, existindo claramente um corredor entre a Casa da Música e o Jardim da Cordoaria. Na área da Boavista há claramente um foco ao longo da Avenida de França, Avenida da Boavista, Rua do Campo Alegre e Rua de Júlio Dinis. Muitos destes autocarros têm o seu início/término no Jardim da Cordoaria, fazendo com que este seja um dos principais pontos de afluência. Ainda na área central existe uma concentração de oferta ao longo da Rua Sá da Bandeira e Praça D. João I. A Rua Fernandes Tomás e Rua Alexandre Braga também se destacam em relação aos demais lugares.

Já fora do núcleo mais antigo, destacam-se fortemente os interfaces de Campanhã e do Hospital de São João. A Rua de Costa Cabral e Avenida de Fernão Magalhães também apresentam bons níveis de serviço, com as linhas a cruzarem-se junto à Praça Velasquez, onde se cruzam as linhas 300, 305, 401, 402, 805 e 806. Outro dos aspetos que se pode analisar com este tipo de técnica é a oferta de transportes ao longo do dia. Na Figura 25 é possível observar a oferta disponível em quatro momentos do dia.

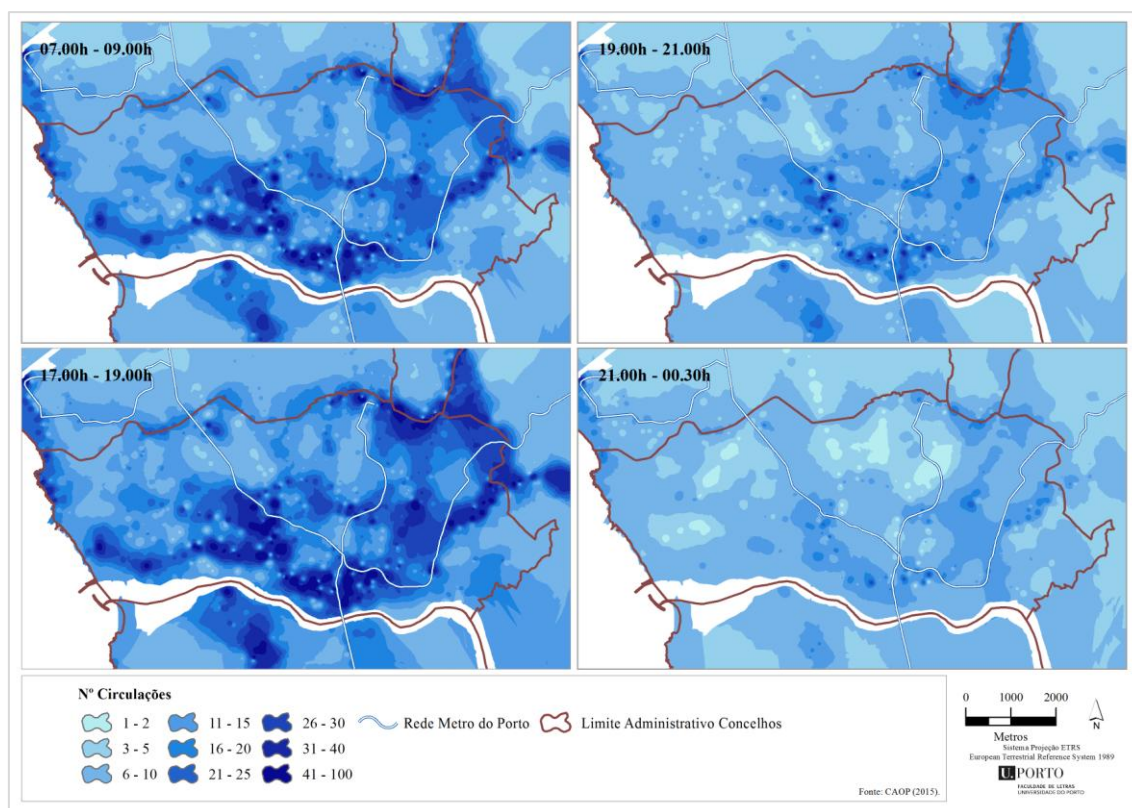


Figura 25 – Oferta de transporte coletivo, em distintos momentos do dia.

Tal como é possível observar, a oferta de transportes coletivos varia ao longo das fases do

dia. Comparando os dois principais picos de procura e oferta de transporte nota-se um ligeiro ascendente do período 17.00h – 19.00h. O período das 21.30h – 00.29h mostra algumas áreas dentro do concelho do Porto com apenas 1 ou 2 circulações, podendo evidenciar uma oferta escassa em algumas zonas. Estes mapas mostram igualmente a interdependência da rede STCP com o Metro do Porto. A linha Amarela do Metro, a única com perfil norte-sul, atravessa áreas centrais com uma oferta escassa (ou mais fraca), principalmente a norte da Avenida dos Aliados, com especial destaque para a Estação da Trindade, local onde cruzam todas as linhas do Metro do Porto. A ligação ao Polo Universitário da Asprela também fica fortemente reforçada com a presença do Metro, principalmente no período noturno, onde algumas linhas têm a sua última circulação por volta das 21h.

Contudo, a falta de cobertura em termos de oferta de transporte coletivo pode não significar escassez de oferta mas sim em escassez de procura.

4.4.2. Os principais interfaces do Porto

Uma das formas mais eficientes de estudar a mobilidade e acessibilidade da população é a análise da geração de fluxos a partir dos principais interfaces. Para isso, efetuou-se um levantamento das linhas e paragens existentes em cada um dos interfaces, “especializou-se” a oferta e escolheu-se, a título exemplificativo, o período de “pico” da manhã para a análise da oferta existente. De modo a obter as áreas de influência de cada um destes definiu-se para as paragens de autocarro 400 metros, para as estações de metro 600 metros e para as estações ferroviárias 800 metros. Após o reconhecimento da oferta propiciada pela rede Andante optou-se por analisar os seguintes interfaces: Boavista (Casa da Música); Boavista (Bom Sucesso); Cordoaria; Hospital São João (Estrada da Circunvalação); São Bento; Trindade; Campanhã; Praça Marquês de Pombal; e Bolhão.

A elaboração da cartografia por interface de transportes obrigou à utilização combinada dos *softwares* QuantumGIS e GVSIG. O QuantumGIS foi essencial para a criação dos dados *raster*, similar à metodologia empregue na Figura 22 e na Figura 23. Contudo, nos mapas que se seguem, esta metodologia focou-se apenas num local de passagem, o interface, de modo a observar quais são as áreas com melhor serviço a partir desse ponto. O programa GVSIG foi utilizado com o intuito de criar as áreas de serviço de cada uma das paragens. A interação do utilizador com o programa GVSIG e com a sua *Network Extension* para a criação das áreas de serviço é demonstrada na figura seguinte.

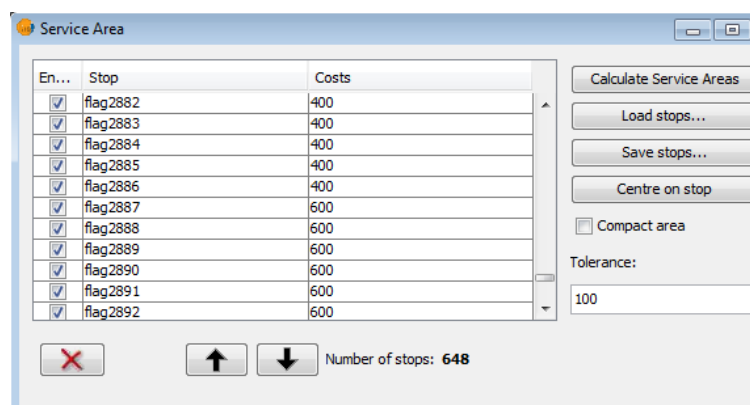


Figura 26 – Interação com o programa GVSIG para a criação das áreas de serviço das paragens

O primeiro interface em estudo (Figura 27) é a Casa da Música. O interface da Casa da Música proporciona o transbordo entre o autocarro e o metro, sendo também um dos pontos de acesso aos locais de trabalho. Na Casa da Música cruzam as linhas 203, 204, 208, 209, 503, 504, 507, 902 e 903 da STCP e ainda a linha 18 da rede Espírito Santo, que realiza a travessia Porto-Vila Nova de Gaia pela Ponte da Arrábida. A Estação de Metro permite a utilização de todas as linhas de metro, exceto a linha D.

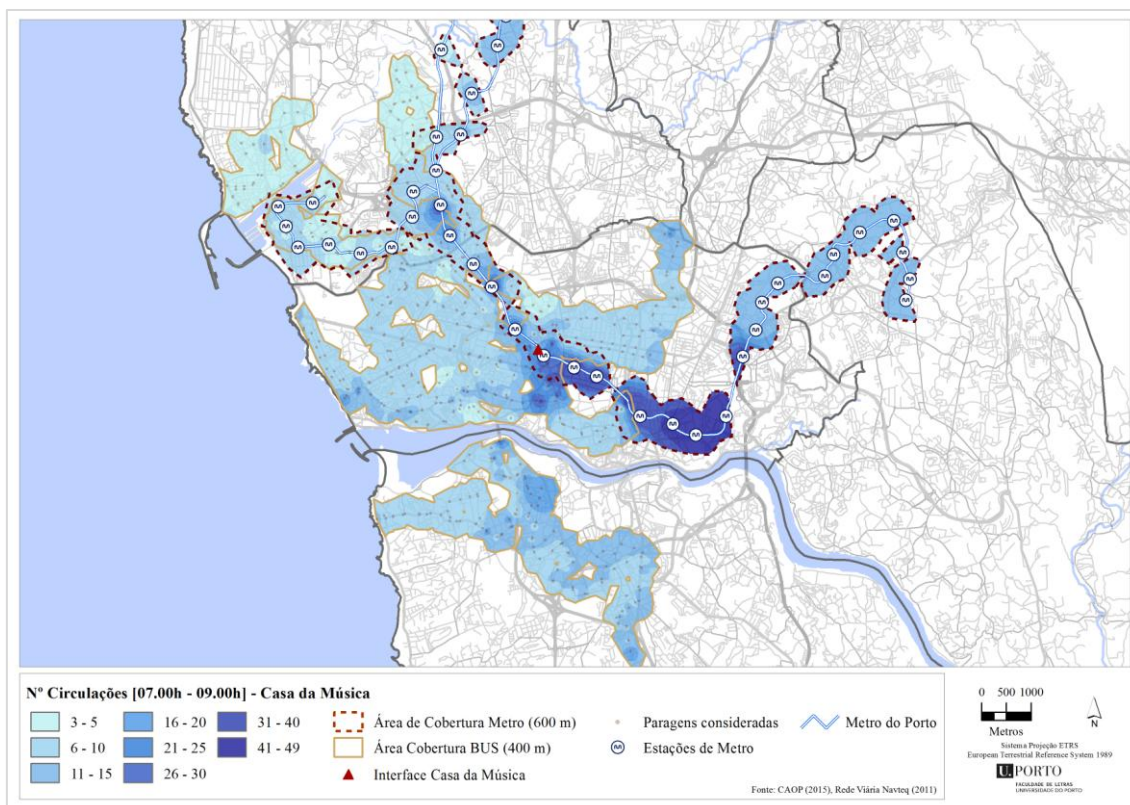


Figura 27 – Cobertura Espacial do InFigterface da Casa da Música

A cobertura espacial exposta na Figura 27 evidencia que a Casa da Música é, por

excelência, o interface que liga a parte mais ocidental do concelho do Porto, tendo também alguma oferta de transportes rodoviários entre a Casa da Música e o Hospital São João. O metro ligeiro é claramente aquele que oferece maior frequência. Em relação aos concelhos limítrofes o interface em análise é relevante para os concelhos de Matosinhos e Vila Nova de Gaia. Quanto a Matosinhos existem, tanto por autocarro como por metro ligeiro, ligações até ao Mercado de Matosinhos, ponto onde cruzam diversas linhas de transporte coletivo. Para além disso, o transporte rodoviário serve ainda a área de Leça da Palmeira. A oferta exposta refere-se apenas ao tarifário Andante, sendo que esta cobertura podia ser melhorada articulando a rede da STCP com as linhas da Resende que ainda não fazem parte das linhas Andante. Quanto a Vila Nova de Gaia o acesso é feito exclusivamente por autocarro, servindo áreas fulcrais de Vila Nova de Gaia, tal como a oferta para a Avenida da República.

Um dos principais corredores de transportes do Porto é entre a Boavista e a Cordoaria, onde se sobrepõem diversas linhas (ver Figura 22 e Figura 23). Apesar disso, a maior parte das ligações não passam pela Casa da Música, sendo que a oferta fica no intervalo 3 a 5 circulações.

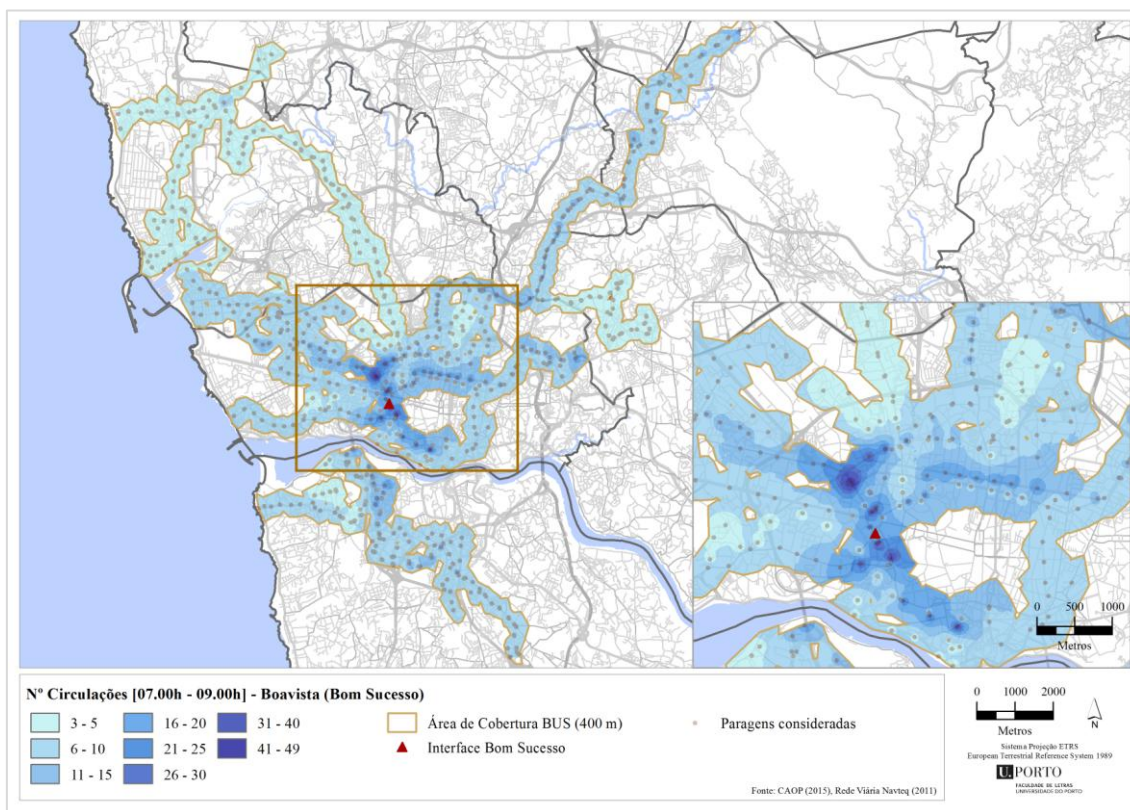


Figura 28 - Cobertura Espacial do Interface da Boavista (Bom Sucesso)

Por isso, torna-se importante analisar o interface da Boavista (Bom Sucesso), onde apenas existe o modo rodoviário para o transporte de passageiros (Figura 28). Apesar da relativa

proximidade com a Casa da Música, o perfil do interface em análise é um pouco distinto. O Bom Sucesso acaba por cobrir mais áreas do concelho do Porto, tendo também ligações diretas com os concelhos da Maia e Gondomar. No interface do Bom Sucesso cruzam 16 linhas da STCP (201, 204, 208, 209, 303, 402, 501, 507, 508, 601, 704, 803, 902, 903, 907 e ZM) e ainda a linha 18 da Espírito Santo. Esta panóplia de oferta da STCP proporciona a cobertura de alguns “interstícios” da cidade do Porto, como por exemplo a linha 402, que faz ligação desde S. Roque, passando pelo Bairro de Contumil e servindo áreas importantes do concelho do Porto.

Da parte ocidental da cidade do Porto este interface é, claramente, a maior referência para os habitantes de Vila Nova de Gaia visto que existem 4 linhas que ligam as duas margens do rio. A oferta é similar à proporcionada no interface da Casa da Música mas soma-se a linha 907 que liga de forma direta Vila D’Este (uma das zonas de maior densidade populacional de Vila Nova de Gaia) e a Boavista.

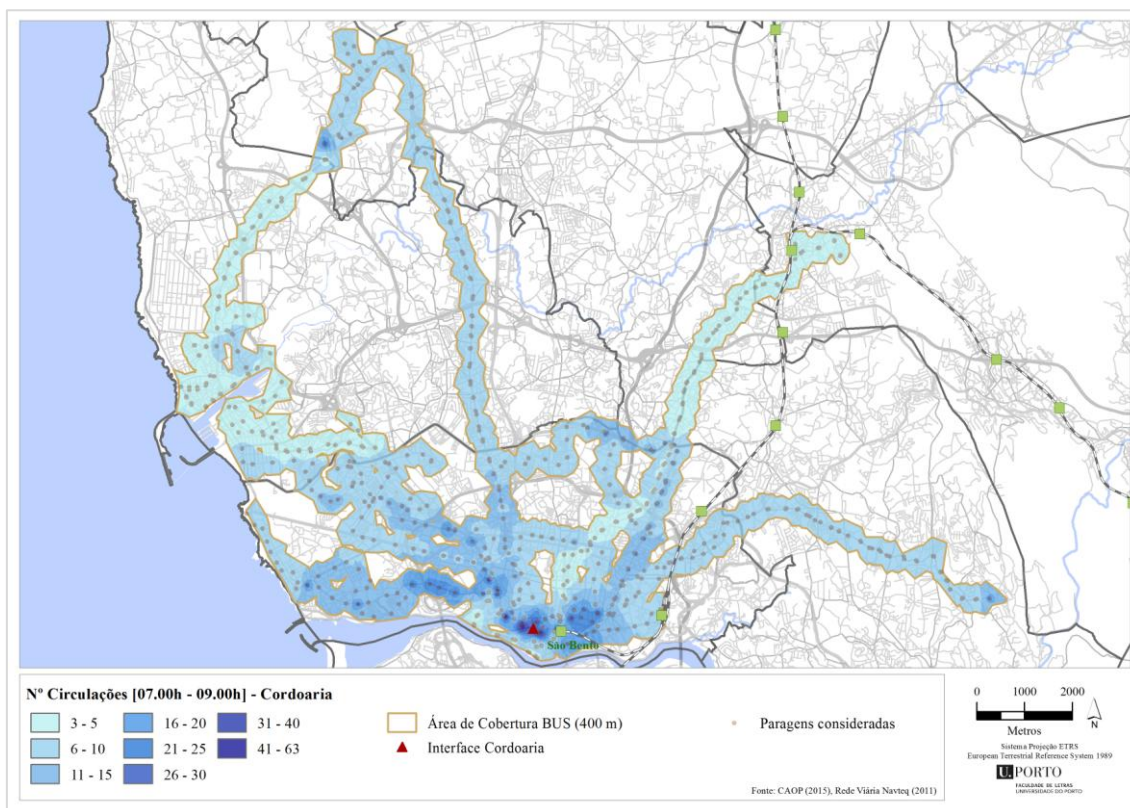


Figura 29 – Cobertura Espacial do Interface da Cordoaria

Outro dos interfaces onde a oferta se resume ao setor rodoviário é a Cordoaria, sendo que a cobertura espacial está exposta na Figura 29. Apesar da Cordoaria só dispor do serviço rodoviário, trata-se de uma área central do Porto, já adjacente à “malha” mais antiga da cidade e

perto de quarteirões onde existe um avolumado número de empregos no setor terciário. Como é possível observar na figura, o interface da Cordoaria inclui uma vasta área do concelho do Porto, sendo as ligações interconcelhias limitadas ao rio Douro. É de notar que os “corredores” para os concelhos da Maia, Valongo e Gondomar estão bem definidos, ao contrário do concelho de Matosinhos, onde a área coberta está mais concentrada junto à costa, entre o centro de Matosinhos e Leça da Palmeira. Tratando-se do começo ou término de várias linhas de transporte, o interface da Cordoaria ainda beneficia de uma relativa proximidade à estação de São Bento, que lhe confere algum peso no acesso ao transporte ferroviário.

De facto, no interface de São Bento, cruzam-se três modos de transporte: rodoviário, metro ligeiro e comboio, apresentando algumas particularidades, como é possível observar na Figura 30.

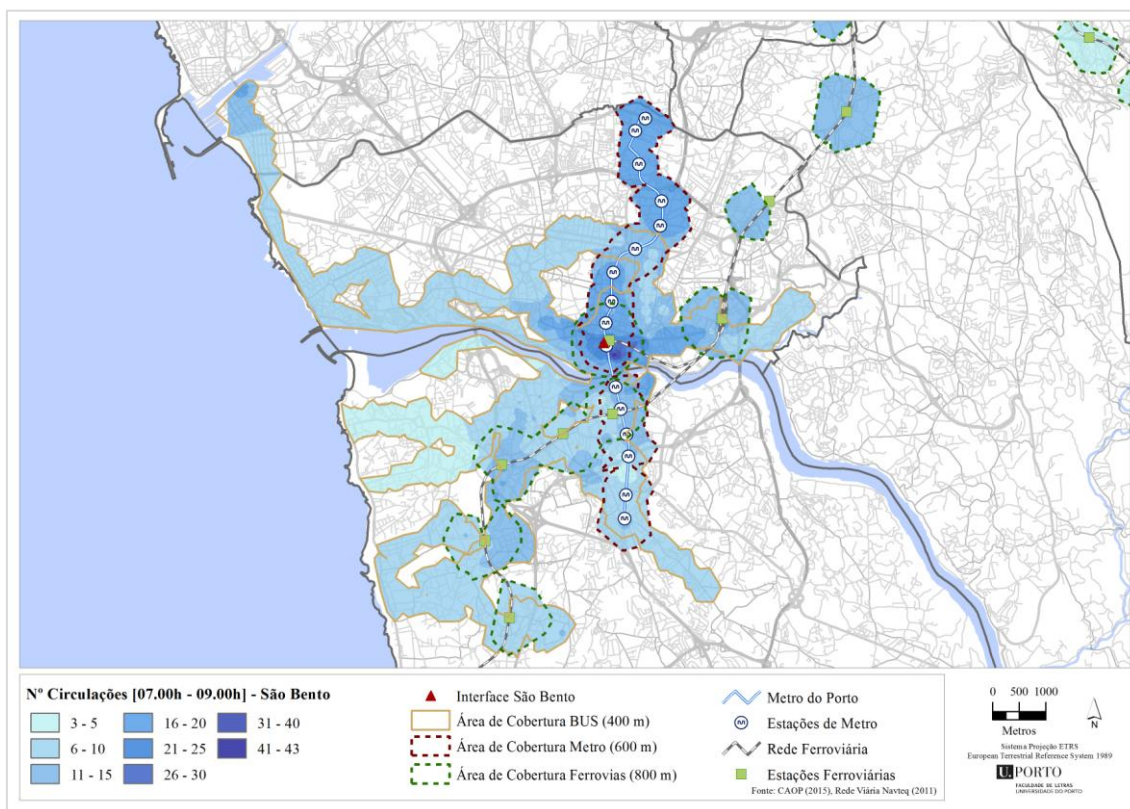


Figura 30 – Cobertura Espacial do interface de São Bento

Este nó da rede proporciona o transbordo entre três modos de transporte, sendo fulcral para a população residente em Vila Nova de Gaia. Cruzam em São Bento, para além da linha D (que realiza serviço até Santo Ovídio, já perto do fim da Avenida da República) e da linha dos CP Urbanos vinda de Aveiro, as linhas rodoviárias da STCP (900, 901, 904, 905 e 906) e as linhas da Espírito Santo (11, 16 e 27), todas incluídas na Rede Andante. Este interface é

especialmente importante nas ligações entre a cota baixa e alta da cidade, para além de proporcionarem o acesso mais rápido entre o Centro Histórico do Porto e Matosinhos, ao longo do rio Douro e passando pela zona da Foz. Em relação à área coberta a este de São Bento, este é o primeiro interface a realizar serviço do interior do concelho de Campanhã, mais concretamente até à zona do Bairro do Lagarteiro, se bem que com fraca frequência (entre 6 a 10 no período entre as 7 e as 9h).

Um dos principais interfaces do concelho do Porto surgiu nas últimas duas décadas, local onde rebatem todas as linhas do Metro do Porto: o interface da Trindade.

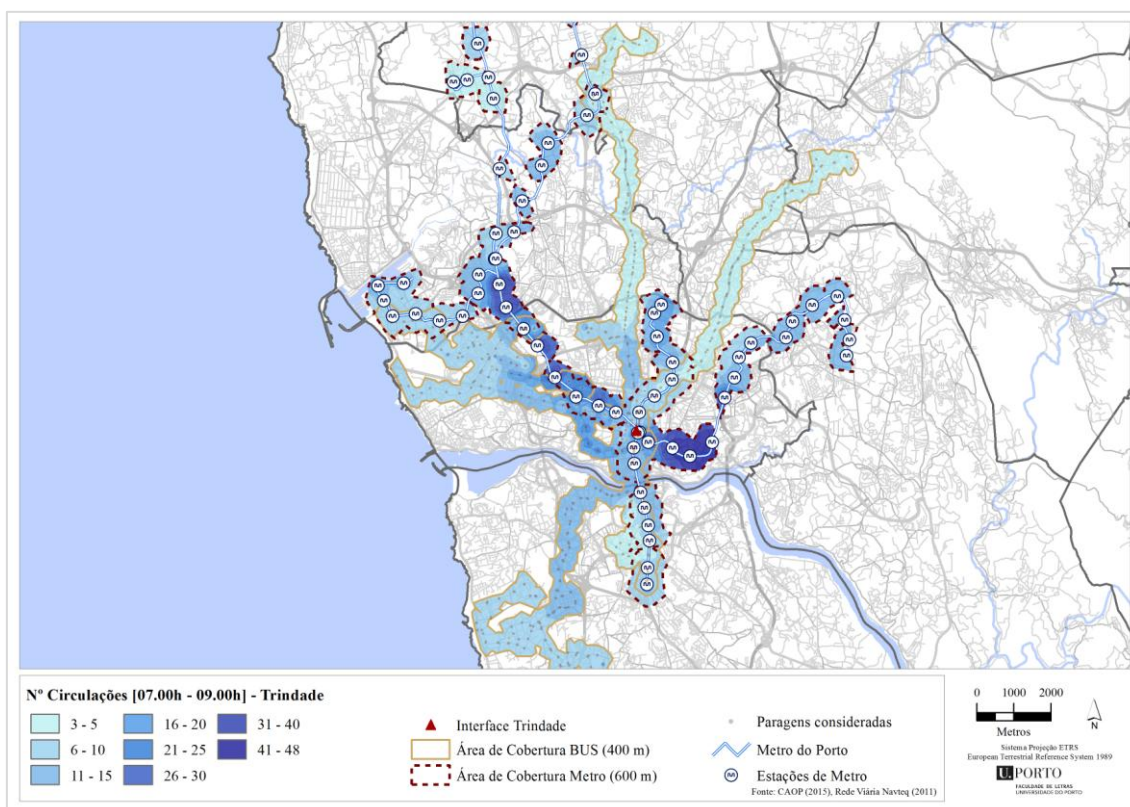


Figura 31 – Cobertura Espacial do Interface da Trindade

O interface da Trindade tem um enfoque especial na acessibilidade à área central do Porto em muito devido ao metro ligeiro, sendo o ponto onde todas as linhas da Metro do Porto intersectam. Para além disso, passam pelo interface da Trindade as linhas 201, 202, 208, 304, 501, 600, 703, 900, 901 e 906, totalizando 10 linhas. O interface da Trindade está localizado numa área central do Porto, a menos de 5 minutos pela via pedonal da Avenida dos Aliados e de áreas com grande concentração serviços do setor terciário. Tal como a Casa da Música, também serve todos os concelhos limítrofes, sendo só possível com a presença do Metro do Porto.

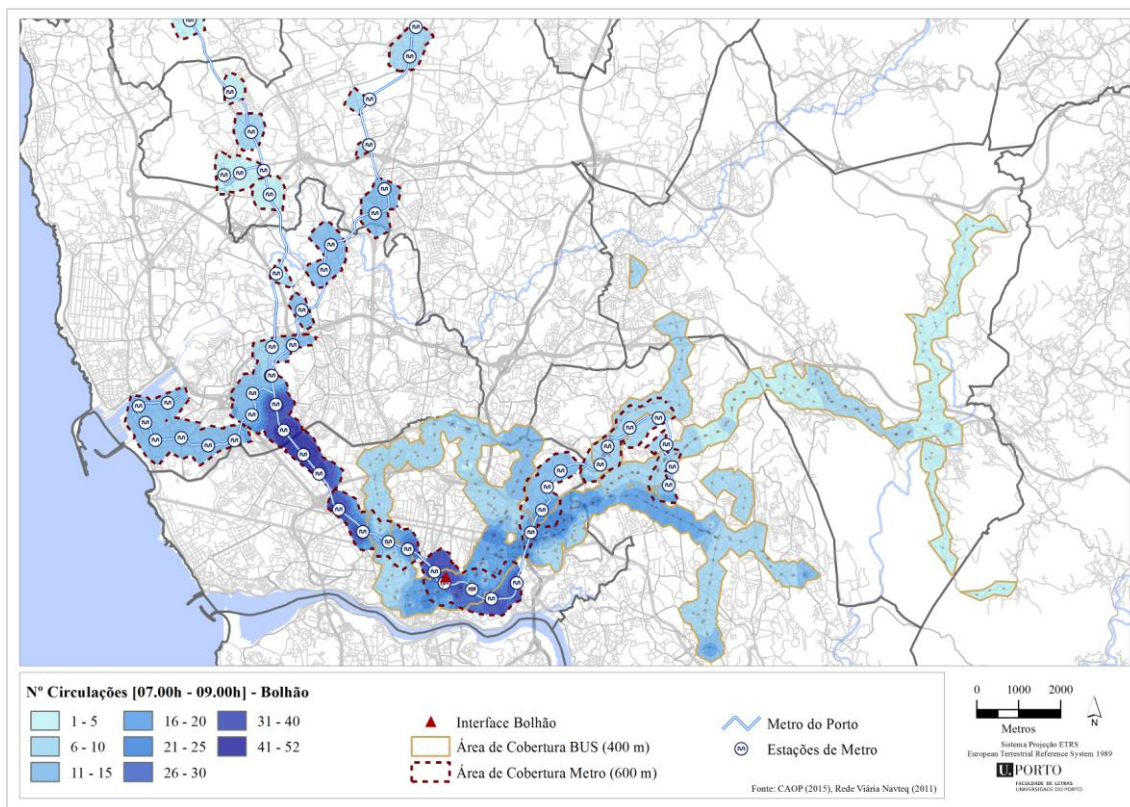


Figura 32 – Cobertura Espacial do Interface do Bolhão

O interface do Bolhão localiza-se no centro do Porto, perto da Rua de Santa Catarina, uma das ruas de maior movimento e fluxo populacional, tanto para trabalho como para lazer, com a presença de vários serviços terciários. No Bolhão, mais concretamente na Rua Alexandre Braga, do lado este do Mercado do Bolhão, começam/terminam várias linhas dos operadores STCP, ETG e VALPI, não podendo ser esquecida a presença do Metro do Porto, onde apenas não existe acesso direto à linha D. No interface do Bolhão cruzam as linhas 300, 301, 305, 401, 700 (em parceria com a VALPI, com a linha 94), 800 e 901. Na Rua Alexandre Braga passam ainda as linhas 55, 69 e 70. Já na Rua Formosa passam ainda as linhas 33, 36 e 41, pertencendo atualmente à rede Andante, a qual se completa com a linha 1 da VALPI. Pela descrição já efetuada sobre os operadores privados, denota-se que este interface é particularmente importante para os habitantes dos concelhos de Gondomar e Valongo, sendo que as linhas intersectam o Porto por S. Roque, realizando serviço até ao interface em estudo. As linhas do tipo circular (300, 301 e 305), que passam na Rua Alexandre Braga, conferem ainda uma ligação direta ao interface do Hospital de São João e ao Pólo Universitário da Asprela. As ligações aos concelhos de Matosinhos e Maia são exclusivamente efetuadas pelo Metro do Porto, sendo que não existe qualquer ligação com a margem sul do rio Douro.

Fora do centro tradicional e da Boavista, surgem os interfaces da Praça do Marquês de Pombal e Campanhã, se bem que com realidades completamente distintas.

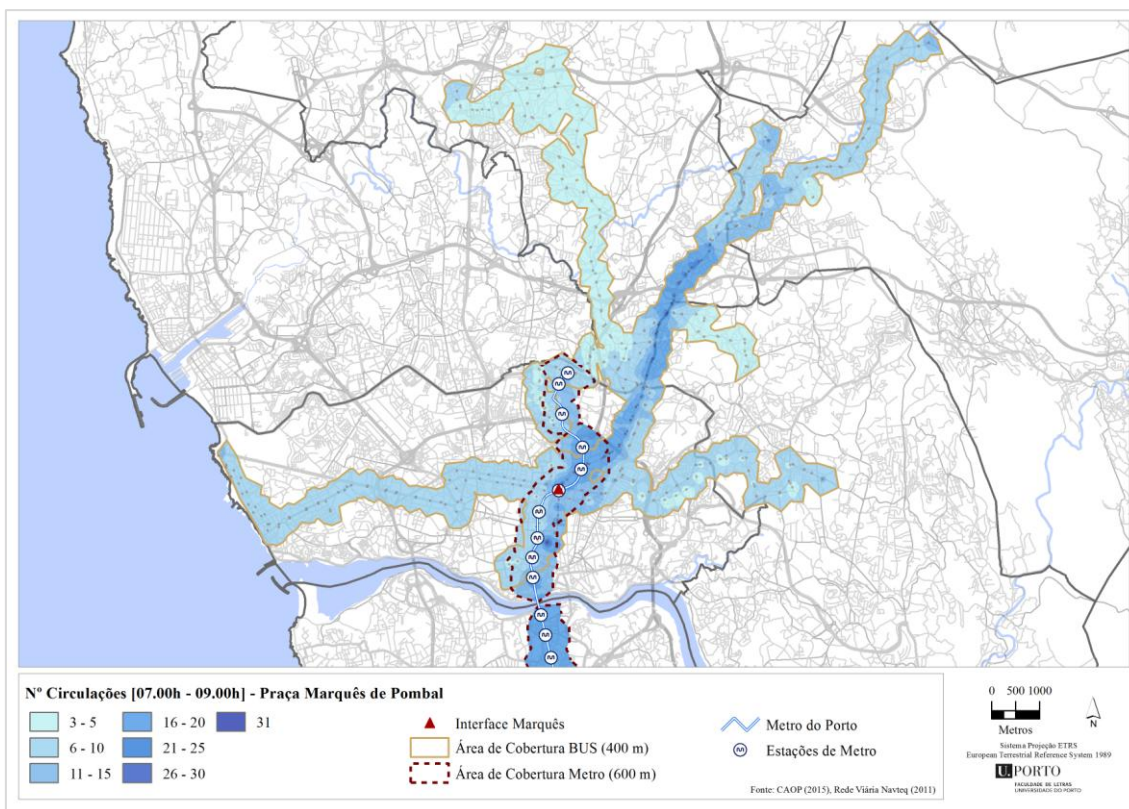


Figura 33 – Cobertura Espacial do Interface da Praça Marquês de Pombal

Na Figura 33 é possível observar a cobertura espacial do interface da Praça Marquês de Pombal, com razoável número de serviços e a presença de várias instituições de ensino. O interface em estudo tem algumas parecenças com o Bolhão, estando principalmente voltado para os concelhos da Maia, Valongo e Gondomar. A maior parte das linhas da STCP faz serviço pela Rua de Costa Cabral, cruzando o limite do concelho junto ao viaduto da Areosa, seguindo pela Rua Dom Afonso Henriques em direção Águas Santas/Alto da Maia, um dos polos de concentração de oferta e procura no concelho da Maia.

A Praça Marquês de Pombal está fortemente marcada pela presença da Linha D do Metro do Porto, que permite a ligação com a “baixa” do Porto, podendo servir como ponto de “rebatimento” do transporte rodoviário de passageiros. Neste interface conta-se com a presença das linhas 203, 603, 701, 702, 903, 805 e 806 da STCP.

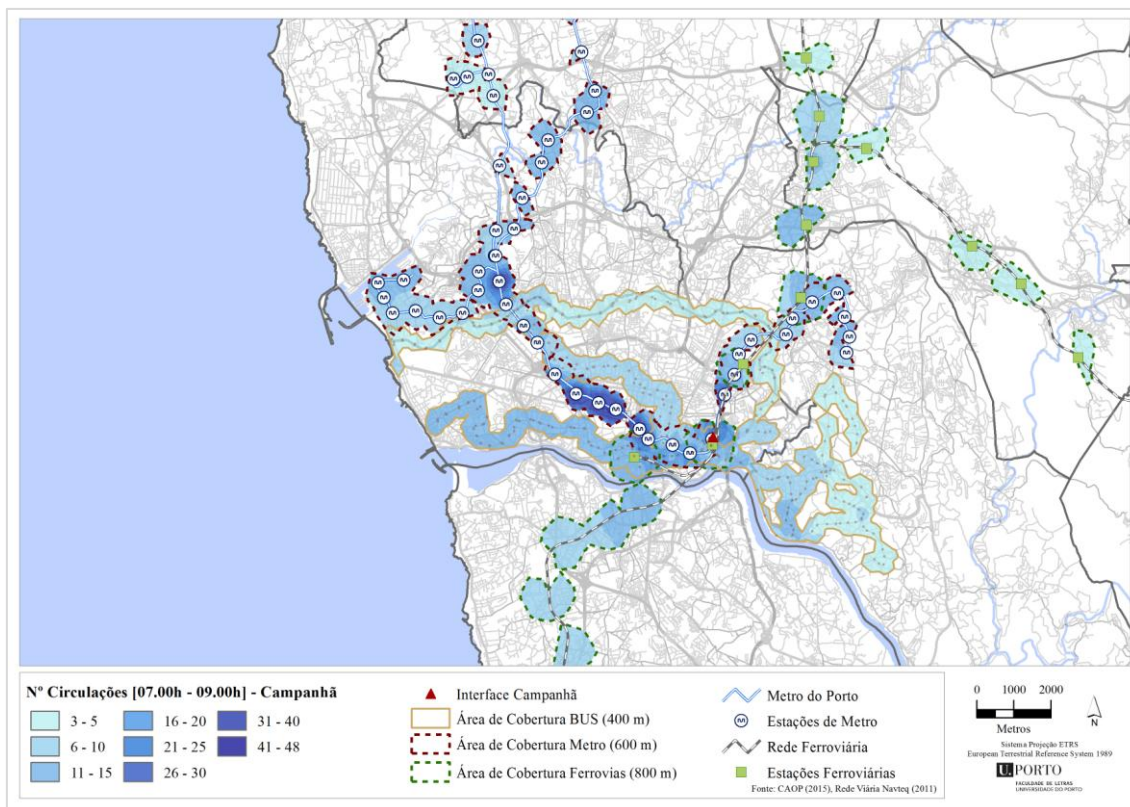


Figura 34 – Cobertura Espacial do Interface de Campanhã

A cobertura espacial proporcionada pelo interface de Campanhã (Figura 34) é o resultado da presença de três modos de transportes: rodoviário, metro ligeiro e comboios. A Estação de Campanhã é a primeira “porta” do concelho do Porto para os utilizadores do modo ferroviário, que podem seguir nos Urbanos do Porto até à estação de São Bento ou ainda usufruírem da possibilidade de fazer transbordo para os STCP ou Metro do Porto. Quanto aos STCP passam no interface de Campanhã as linhas 205, 206, 207 e 400. Denota-se ainda que a linha 207 e 206 estendem as ligações até ao centro do Porto, sendo a que linha 207 oferece uma frequência satisfatória até ao Mercado da Foz, atravessando o centro da cidade. A linha 205 estabelece ligação ao longo do limite do concelho, que em grande parte coincide com a Estrada da Circunvalação, se bem que com uma frequência baixa, visto que muitas das ligações da linha 205 realizam serviço só a partir de São Roque, em direção a Matosinhos. Quanto ao serviço realizado no concelho de Gondomar, este é garantido pelas linhas 1, 2, 3, 21, 22 da ETG, que atualmente já fazem parte do tarifário Andante. A cobertura presente nos “interstícios” da freguesia de Campanhã é garantida pela linha 106 da Resende, que realiza serviço entre o Lagarteiro e Leça da Palmeira, coincidindo em grande parte com o trajeto da linha 205 da STCP.

Por último, é necessário observar a cobertura que é garantida pelo interface do lado norte do Hospital de São João, junto à Estrada da Circunvalação.

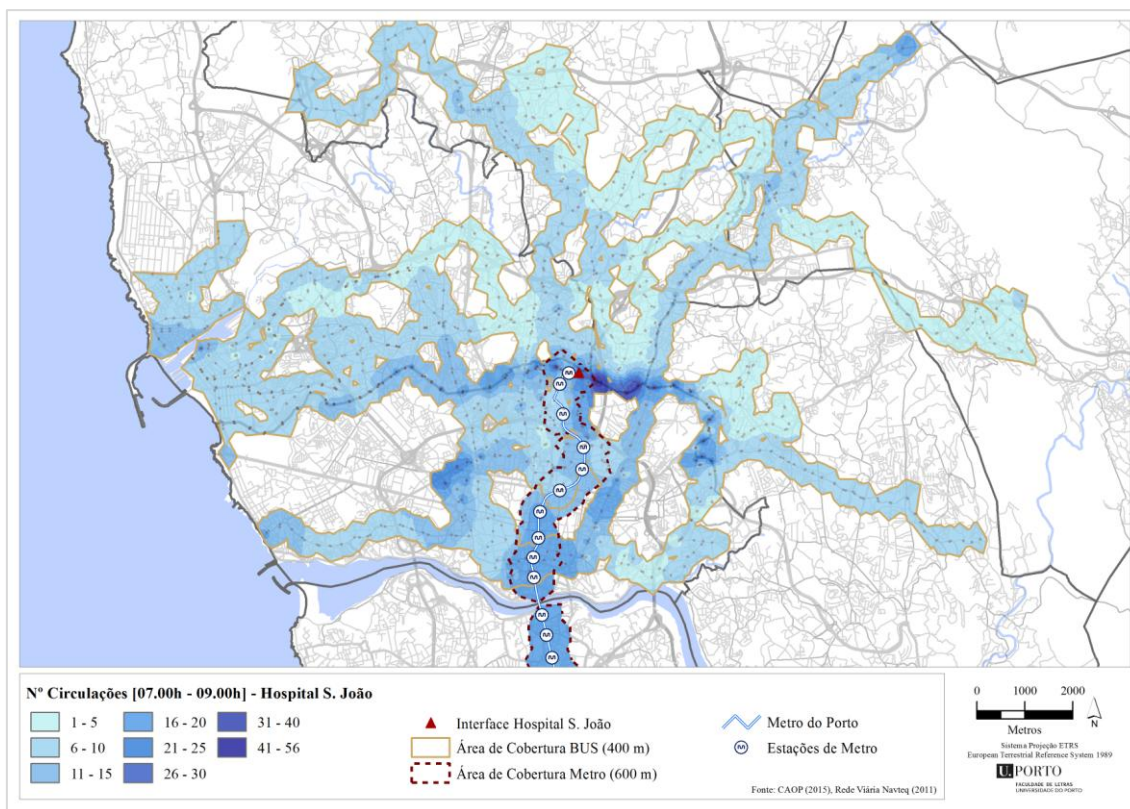


Figura 35 – Cobertura Espacial do Interface do Hospital de São João

Na Figura 35 é possível compreender que o interface do Hospital de São João é o que oferece maior cobertura territorial exterior ao concelho do Porto, com especial enfoque nos concelhos a norte, especialmente Matosinhos e Maia. Para este cenário contribuem as linhas da STCP e também do operador privado da Resende, a quem está concessionado o concelho de Matosinhos. A Resende tem a passar no interface do Hospital de São João as linhas 105, 106 e 111, que servem as freguesias do concelho de Matosinhos que estão adjacentes ao concelho do Porto, cobrindo quase por completo essas áreas, como é possível perceber, não podendo deixar de se mencionar as linhas 505 e 506 da STCP. Para o concelho da Maia contribuem os STCP, com as linhas 603 e 604, que realizam serviço até ao centro da Maia e Aeroporto, respetivamente. A oferta existente no interface em questão é muito vasta, contando ainda com as linhas 7, 67, 89 e 91 da VALPI, que realizam serviço em direção a Valongo, cobrindo áreas que mais nenhum operador faz. Da parte da STCP passam no Hospital São João 15 linhas de transporte coletivo, desde ligações interconcelhias (por exemplo, a linha 804 que serve São Pedro da Cova, em Gondomar), até às linhas circulares que estabelecem ligação com áreas do

interior do Porto até ao centro mais antigo. O Metro do Porto, com a presença da linha D também confere ao interface do Hospital de São João um papel de charneira em termos de mobilidade urbana da cidade do Porto.

Após este percurso analítico, interface a interface, é necessário analisar a cobertura espacial proporcionada por cada um deles com dados tangíveis, permitindo uma comparação mais aprofundada entre os mesmos. A Tabela 4 resume a área de abrangência de cada um dos interfaces, tanto em quilómetros quadrados como em proporção de população coberta no concelho do Porto e em todos os concelhos adjacentes.

Tabela 4 – População abrangida pela cobertura espacial de cada um dos interfaces, por concelho, com base nos Censos 2011

Interfaces	A km²	Porto 237591		Matosinhos 175478		Maia 135306		Gondomar 168027		V. N. Gaia 302295		Valongo 93858		Total
		nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº
Casa da Música	51	149.004	63	65.723	37	13.455	10	12.978	8	59.372	20	-	0	300.532
Bom Sucesso	54	158.611	67	74.676	43	15.419	11	21.974	13	68.551	23	17.967	19	357.198
Cordoaria	46	177.481	75	66.335	38	22.409	17	22.392	13	-	0	10.536	11	299.153
São Bento	46	101.530	43	10.453	6	5.284	4	7.649	5	91.222	30	25.531	27	241.669
Trindade	55	139.174	59	55.902	32	36.256	27	18.493	11	59.800	20	10.536	11	320.161
Bolhão	48	103.427	44	45.988	26	15.576	12	60.122	36	-	0	18.971	20	244.084
Marquês	34	94.592	40	1.317	1	42.732	32	25.253	15	23.465	8	22.126	24	209.485
Campanhã	62	120.661	51	56.524	32	20.817	15	42.226	25	32.201	11	2.376	3	274.805
Hosp. S. João	76	138.462	58	113.423	65	69.531	51	39.609	24	23.467	8	39.945	43	424.437
TOTAL	155	231.104	97	141.007	80	90.869	67	98.271	58	110.871	37	62.393	66	734.515

Para o cálculo da população foi utilizado o método “*Modified Areal Weighting Method*”³², isto é, o método de ponderação pela área (Batista e Silva, 2009). Para a aplicação deste método foi necessário interseccionar as áreas de cobertura espacial de cada um dos interfaces com os polígonos de BGRI³³ de 2011 com unidade territorial à subsecção, o nível de desagregação máximo disponibilizado pelo INE.

Os resultados obtidos permitem reforçar aquilo que foi dito anteriormente sobre cada um dos interfaces mas possibilitam fazer uma destrição mais aprofundada sobre cada um deles. Antes de mais, importa destacar que, cruzando as coberturas espaciais de todos os interfaces, o concelho do Porto tem 97% dos seus habitantes perto de um ponto de acesso aos transportes

³² Ou Método de Ponderação pela Área Modificada

³³ Nomenclatura da “Base Geográfica de Referência de Informação”, do INE.

coletivos. Outro dos aspetos a destacar nos valores apresentados para o concelho do Porto é que, apesar do interface da Cordoaria e do Bom Sucesso apenas terem acesso direto ao transporte rodoviário, a percentagem de população coberta é superior aos restantes, beneficiando da flexibilidade dos trajetos do modo rodoviário. Os restantes interfaces têm uma importância mais transversal a todos os concelhos, se bem que existem diferenças bem vincadas entre os mesmos.

No caso de Matosinhos, o interface do Hospital de São João assume-se claramente como a principal “porta” de entrada para os habitantes que vivem nas freguesias mais próximas do Porto, resultando em 64% da população abrangida por transporte coletivo. De igual modo, para o concelho da Maia destacar-se o interface do Hospital de São João, servindo como ponto de “rebatimento” entre as linhas dos operadores privados e o Metro do Porto, que pode realizar um serviço mais rápido e eficiente até ao centro da cidade. No caso de Valongo, apesar de ser o Hospital de São João aquele que mais se evidencia em termos de cobertura da população, há uma certa descaracterização entre os interfaces. Para Gondomar, como se observou anteriormente, existe um “corredor” bem delineado entre São Roque e o Bolhão, não sendo de estranhar que o interface que apresenta o valor mais satisfatório seja o do Bolhão. No global, 58% dos habitantes de Gondomar estão próximos da rede de transportes coletivos. Finalmente, no que concerne ao concelho de Vila Nova de Gaia é o que apresenta os valores mais diminutos, apesar de ser um dos concelhos que mais trabalhadores e estudantes fornecem ao concelho do Porto, como se clarificou com os dados dos fluxos populacionais. Mesmo cruzando as áreas de cobertura de todos os interfaces o valor não ultrapassa os 37%. Nesta análise não foram englobadas as linhas Andante do operador privado MGC, que utilizam a Praça das Camélias (Batalha) como término das suas linhas no interior do concelho do Porto. Tendo em conta as limitações do ponto de vista físico e geográfico visto que o concelho se encontra na margem sul do rio Douro, torna-se pertinente avaliar medidas que melhorem o acesso da população ao concelho do Porto.

4.5. A relação da cidade do Porto com a periferia

No sentido de compreender a escolha modal efetuada por parte da população torna-se pertinente comparar o transporte individual com o transporte coletivo, nomeadamente no que diz respeito aos tempos de deslocação que cada um proporciona. Deste modo, foram recolhidas as velocidades médias de cada um dos modos de transporte, partindo-se para a modelação da rede, com o propósito serem criadas isócronas para a representação dos tempos de deslocação a partir de um ponto inicial.

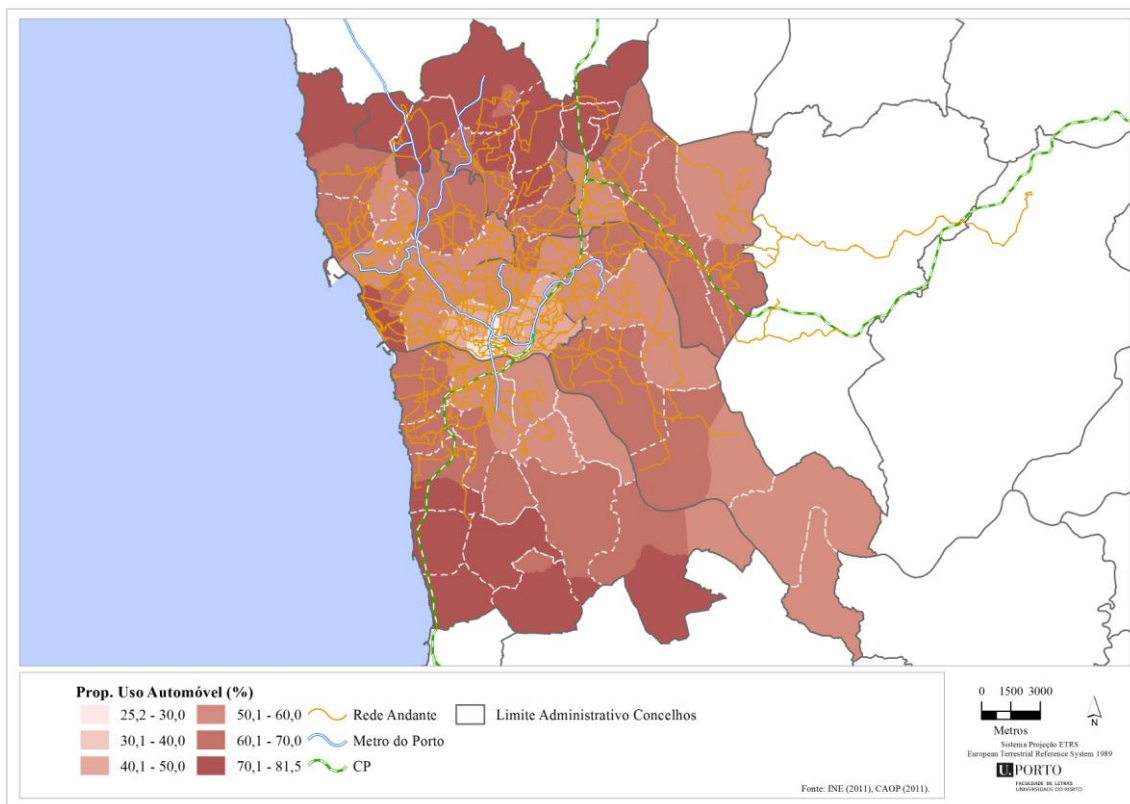


Figura 36 – Proporção do uso automóvel (como condutor ou passageiro) nos movimentos pendulares, por freguesia, em 2011. Fonte: INE-Censos (2011)

A predominância do uso do automóvel deve-se, em grande medida, à falta de alternativas que satisfaçam as necessidades de acessibilidade exigidas pela população. Na Figura 36 pode verificar-se que os concelhos com maior predominância de uso automóvel são os da Maia e Vila Nova de Gaia – valores que aumentam nas freguesias mais afastadas do concelho do Porto. O Porto também apresenta algumas discrepâncias, com as freguesias do núcleo mais antigo a apresentarem os valores mais diminutos de deslocação com recurso ao automóvel, mas com as freguesias de Foz de Douro e Nevogilde a apresentarem valores superiores a 70%.

Assim sendo, importa compreender a facilidade de acesso ao transporte coletivo e as diferenças de acessibilidade entre este e o transporte individual.

4.5.1 A modelação da rede e queries à base de dados

A modelação da rede dos diferentes operadores passou por várias fases, desde o “desenho” dos eixos de ligação entre os diferentes modos até à criação da topologia de rede com recurso à extensão PgRouting do programa *open-source* PostgreSQL. A extensão PgRouting é uma “biblioteca” que se pode utilizar com a extensão PostGIS do PostgreSQL, que é a única que permite a manipulação dos dados geográficos através da formulação de *queries*.

Foram adicionadas à base de dados duas *shapefiles*: (1) rede viária com velocidades adaptadas ao transporte individual; (2) rede com a combinação dos transportes coletivos rodoviários, metro ligeiro e ferrovias. Realizou-se uma ligação da base de dados com o *software* QuantumGIS, de modo a ter uma conexão gráfica dos resultados obtidos através dos conjuntos de *queries* realizadas à base de dados.

A construção da rede com os vários modos de transporte passou por várias fases. A primeira passou por ligar a rede viária à rede do Metro do Porto e da CP, sendo necessário desenhar os segmentos de reta de ligação entre os diferentes modos de transporte. O tratamento inicial foi feito em QuantumGIS, com a definição dos eixos e nós da rede. Os eixos em falta são, basicamente, os acessos pedonais entre as diferentes plataformas de transporte.

Na figura seguinte encontra-se um exemplo dos eixos que foram necessários acrescentar à rede inicialmente existente.

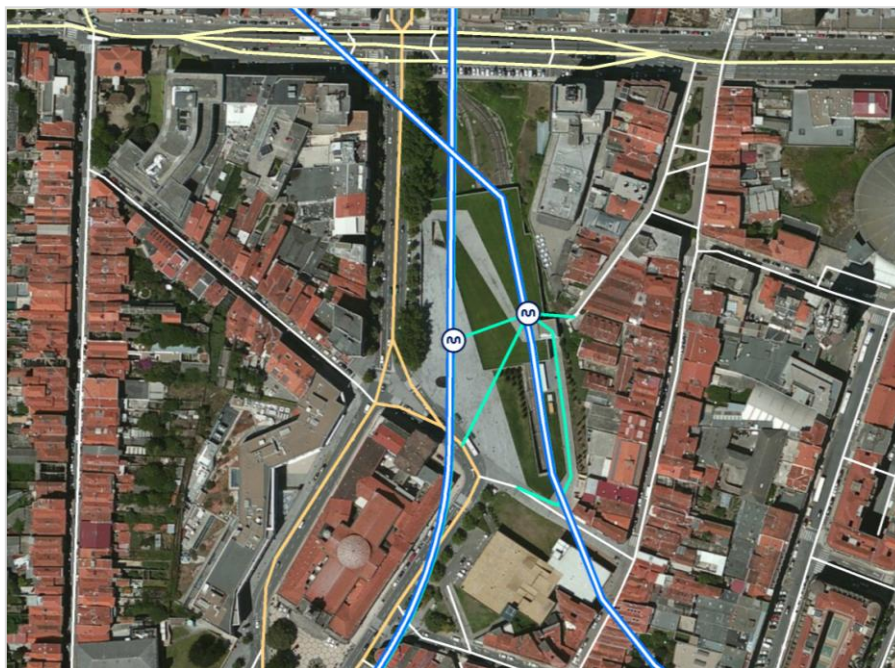


Figura 37 – Exemplo dos eixos de ligação entre os diferentes modos de transporte para a configuração da rede para o PgRouting: o exemplo da Trindade. Fonte: Bing Maps.

Após a realização do mesmo processo para todas as estações, passou-se à definição das velocidades de rede para os diferentes modos de transporte coletivo, tendo por base o descrito no Relatório e Contas de 2014 da STCP o qual pondera que a velocidade comercial³⁴ foi de 15,7 km/h e para o Metro do Porto, no Relatório e Contas do mesmo ano, a velocidade comercial situou-se nos 25,81 km/h.

³⁴ Velocidade média entre a origem e o destino.

Sendo assim, as velocidades adotadas para a modelação da rede estão estipuladas na tabela seguinte.

Tabela 5 – Velocidades de circulação adotada, por modo de transporte, para a rede do transporte coletivo

Modo de Transporte	Velocidade (km/h)
Autocarro – Interior Porto	15
Autocarro - Restantes Concelhos	17
Metro Ligeiro	26
Ferroviário	35
Pedonal	5

Em relação à rede para o transporte individual foi mais fácil a sua configuração, dado que foram utilizados os campos que já existiam na tabela de atributos associada à *shapefile*, onde é possível verificar quais são as velocidades máximas permitidas. Para que a modelação ficasse mais de acordo com as velocidades que são utilizadas em horas de “ponta”, optou-se pela utilização da velocidade mais reduzida nas diferentes tipologias de eixos de via. A velocidade de circulação adotada para cada tipo encontra-se na tabela seguinte.

Tabela 6 – Velocidade de circulação adotada por tipologia de rede para a rede de transporte individual

Tipologia de rede	Velocidade (km/h)
AE/IC	85
IC/IP	65
EN	50
EN/EM	35
Acessos locais	25

O tempo de deslocação, em minutos, entre o ponto inicial e o ponto final de cada segmento de reta foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Tempo Deslocação (min)} = \frac{\text{Comprimento (km)} * 60}{\text{Velocidade (km/h)}}$$

Posteriormente passou-se à criação da *Database*, recorrendo ao *template* criado pelo PostGIS. Deste modo a base de dados criada possuirá todas as capacidades espaciais que se pretendem. Criada e configurada corretamente a base de dados, o passo seguinte foi a importação das *shapefiles*.

Após a importação completa das *shapefiles* via PostGIS, passou-se à ligação da base de dados com o *software* QuantumGIS, onde se irá proceder à inquirição da base de dados através da extensão PgRouting, que foi adicionado ao PostGIS através do *software* PostgreSQL.

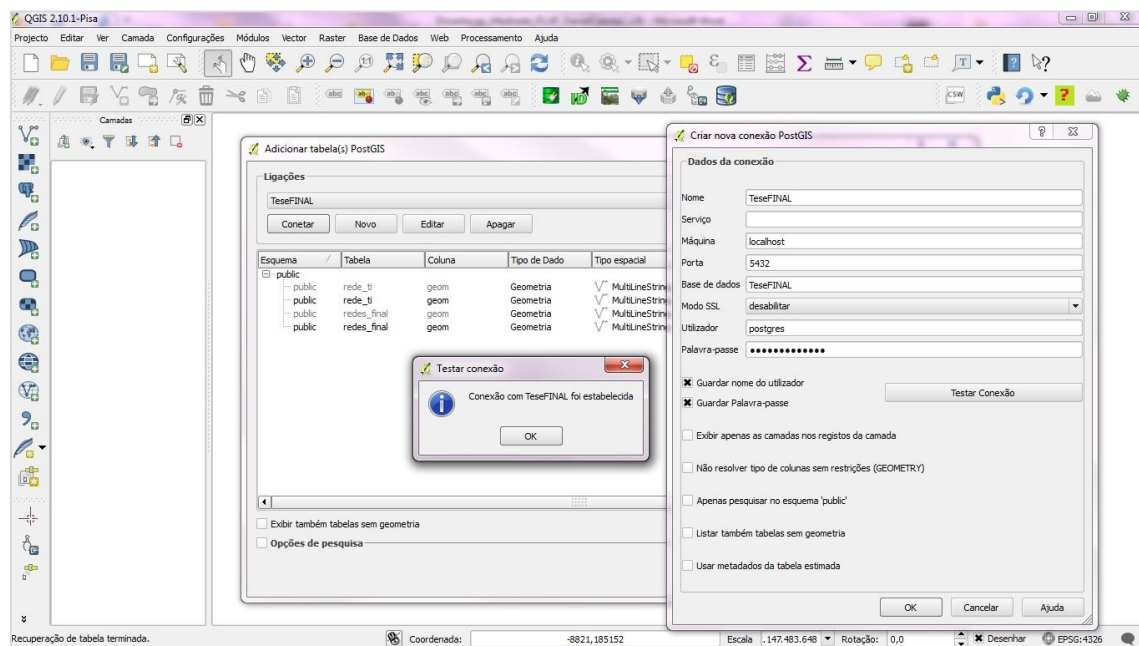


Figura 38 – Ligação da base de dados criada no PostgreSQL ao *software* QuantumGIS

A Figura 38 demonstra como foi estabelecida a ligação entre a base de dados e o *software* QuantumGIS, de modo a ter uma interface gráfica entre os resultados das *queries* e o Desktop de forma mais rápida. Após este passo sucedeu-se à elaboração das *queries*.

A primeira missão foi a criação da topologia de rede, isto é, a definição dos nós e arcos da rede, algo que é essencial para qualquer estudo sobre redes. A Figura 39 mostra a forma como a *query* foi desenvolvida. As primeiras duas linhas adicionam os atributos “source” e “target”, que definem a origem e o destino de cada arco.

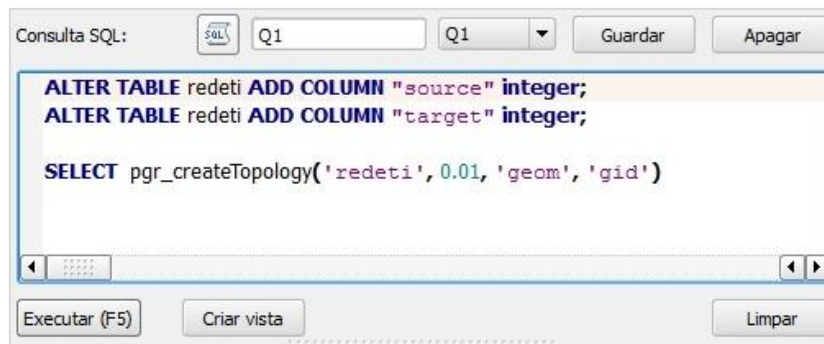


Figura 39 – “Query” desenvolvida para a criação da topologia da rede

O comando “pgr_createTopology” serve para a criação da topologia da rede, tendo de ser inserida a *shapefile* a ser tratada, a tolerância (neste caso foi escolhido o valor de 0,01 visto que *shapefile* encontra-se em no sistema de coordenadas “ETRS_1989_TM06-Portugal”, que tem como unidade cartográfica “metros”), o campo “geom” que é onde está anexada cada forma geométrica e o “gid” que funciona como o campo-chave de cada elemento da tabela, tratando-se do código único de cada segmento de reta. O resultado deste código é uma *shapefile* de pontos, que representam os nós de rede. A mesma metodologia foi utilizada para as duas redes.

Como se trata de uma rede extensa, é recomendável que se crie uma indexação dos campo “source” e “target” (ver Figura 40). Apesar de este passo não ser obrigatório é recomendável para aumentar o desempenho da base de dados.

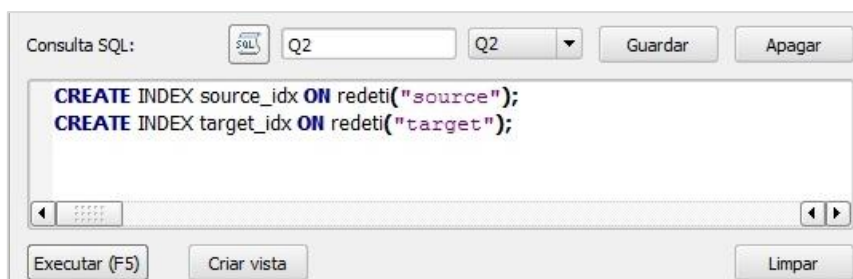


Figura 40 – “Query” para a indexação dos campos “source” e “target”

De seguida, decidiu calcular-se a impedância com os campos que estavam disponíveis na tabela de atributos de cada *shapefile*. A impedância, neste caso, será em minutos, calculada através da fórmula que foi demonstrada anteriormente. A coluna da impedância foi criada e calculada com recurso a uma *query*, que está exposta na figura seguinte.

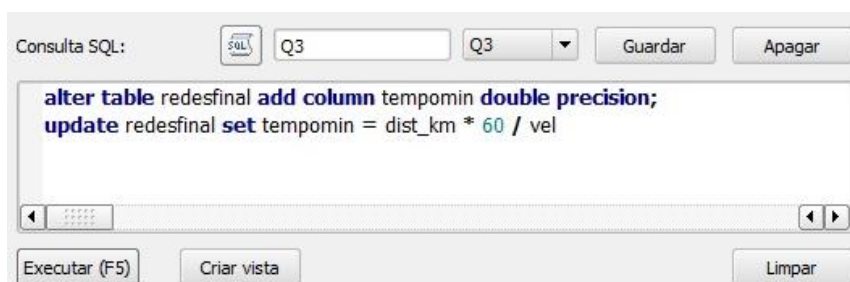


Figura 41 – “Query” desenvolvida para o cálculo da impedância em minutos

A primeira linha da *query* tem como objetivo a criação de uma nova coluna da *shapefile* com o nome “tempomin”, sendo que a segunda linha serve para atualizar esse campo “tempomin” através da fórmula do cálculo da impedância.

A última *query* utilizada foi com o objetivo do cálculo da impedância mínima através de um ponto inicial para todos os nós da rede. Este passo serve para a criação das *shapefiles* que posteriormente são usadas para a criação das isócronas.

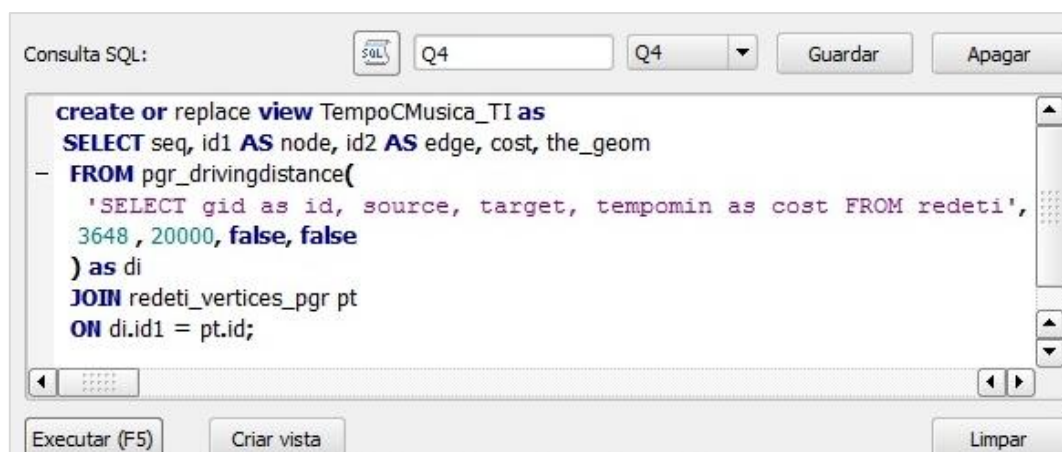


Figura 42 – Exemplo da “query” desenvolvida para o cálculo da impedância, em minutos, entre um ponto inicial e todos os nós de rede

A *query* apresentada na Figura 42 deve obedecer à estrutura de SQL definida pelo PgRouting para a representação da impedância através do comando “pgr_drivingdistance”. A primeira linha serve para a criação de uma nova *view* que representa, na prática, uma nova *shapefile* com o campo do “tempomin” associado a cada um dos nós da rede. Executando a *query* e atualizando a base de dados, aparecerá uma nova *shapefile* de pontos com o nome que foi escolhido no comando *view*, que neste caso foi “TempoCMusica_TI”. O valor “3648” representa o ponto inicial da análise. O valor “20000” é conhecido como o *cut-off*, isto é, o valor máximo até ao qual se deve somar o tempo de viagem. Pode ser utilizado em casos mais específicos como por exemplo se só se quisesse representar a superfície que fica até 30 minutos

de um ponto inicial.

4.5.2. A acessibilidade em transporte individual e coletivo – O caso dos interfaces da Casa da Música e da Trindade

O estudo de redes através da análise de isócronas é particularmente importante no que toca a análises que se pode realizar através dos SIG. São especialmente importantes no que concerne à discussão sobre o planeamento dos transportes na sua dimensão espaço e tempo. Para além disso, este tipo de análise poderá ajudar a perceber como as pessoas avaliam as oportunidades de deslocação do ponto A ao ponto B. As isócronas, neste caso, representam linhas com igual tempo de viagem, podendo definir-se intervalos entre linhas, área essa que é acessível dentro desse intervalo específico de valores (O'Sullivan, Morrison, & Shearer, 2000).

Seguindo o percurso analítico desenvolvido ao longo da Dissertação, apenas serão analisados casos mais específicos, abordando dois dos pontos fulcrais de acesso aos centros geradores de emprego e serviços e às instituições de ensino. Os casos selecionados são os da Trindade e Casa da Música. O interface da Trindade justifica-se por se tratar do ponto onde a rede de metro ligeiro cruza, fazendo com que a Trindade seja atualmente um dos interfaces de maior afluência da cidade do Porto, principalmente no que toca à acessibilidade à “baixa” do Porto.

Relativamente à Casa da Música torna-se pertinente avaliar por se tratar do interface mais próximo do centro gerador de emprego na área envolvente da Boavista, onde cruzam diversas linhas da STCP para além da presença do Metro do Porto, onde apenas não está disponível a linha D. Além do mais, este é o interface que cobre quase na totalidade a parte ocidental do município como foi possível clarificar nos resultados da cobertura espacial de cada um dos interfaces.

Como se pôde observar anteriormente, os dois interfaces referidos são dos que têm uma maior cobertura territorial, para além de que proporcionam a ligação aos concelhos limítrofes ao “centro” principal, tanto por autocarro como pelo metro ligeiro.

Os restantes interfaces que foram abordados nos capítulos anteriores, apresentariam valores similares aos que são avaliados no presente capítulo, não se tornando pertinente para avaliar as diferenças de velocidade e acessibilidade entre o transporte individual e o transporte coletivo.

A análise incide sobre a acessibilidade ao transporte coletivo.

Em relação ao território concelhio do Porto, será necessário olhar com especial enfoque para os interfaces da Casa da Música e da Trindade, dois dos interfaces que estão mais próximos

de áreas onde predomina o setor dos serviços. É importante observar os tempos de deslocação a partir da Casa da Música porque é o interface que liga o Porto a toda a parte ocidental do município, como foi possível ver anteriormente, para além de ser importante no que toca às ligações com os concelhos “vizinhos”. A análise incide sobre a acessibilidade ao transporte coletivo.

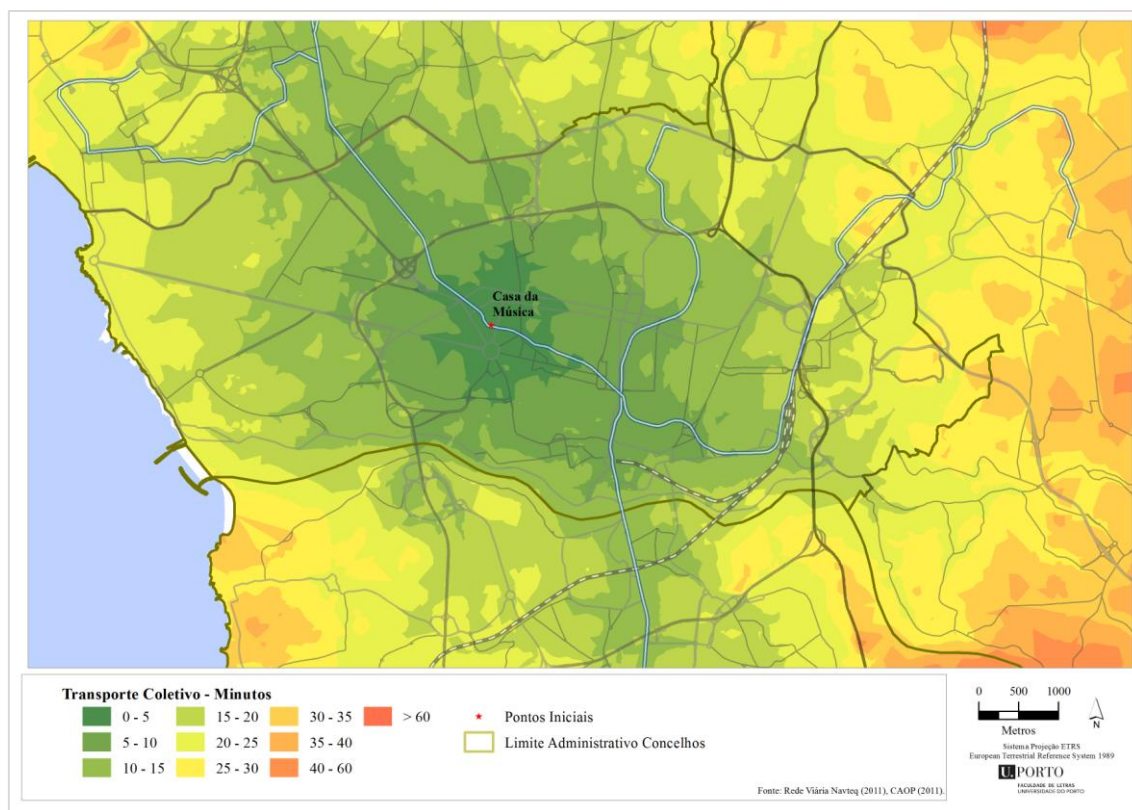


Figura 43 – Acessibilidade em transporte coletivo a partir da Casa da Música

A Figura 43 demonstra a acessibilidade em transporte coletivo partindo do interface da Casa da Música, incluindo toda a Rede Andante (autocarro, metro e comboio). A análise permite demonstrar como as pessoas que vivem nas freguesias de Nevogilde e Foz do Ouro estão, em parte, dependentes do automóvel privado. A figura mostra que entre a Casa da Música e as freguesias em questão o tempo de viagem situa-se entre os 20 e os 30 minutos, também resultado da distância física entre os lugares. Existem fatores socioeconómicos que também podem pesar na escolha, visto que na Foz fixam-se famílias com maior poder de compra.

Destaque-se, também, o “corte” que existe a oriente da Estação de Campanhã e na área envolvente às estações de metro de Nasoni e de Nau Vitória, podendo denotar falta de interligação ou oferta nestas áreas. Mais pormenorizadamente, é possível compreender que grande parte do território concelhio do Porto está ao alcance de 20 minutos, em muito devido à

presença do Metro do Porto no interface em observação. Por exemplo, é possível aceder a pontos como Trindade, Bolhão, Aliados ou São Bento em menos de 15 minutos. No que toca aos concelhos limítrofes, as ligações são mais rápidas com os concelhos de Matosinhos e Vila Nova de Gaia, dada à presença do Metro do Porto. Também está bem vincado o eixo ao longo da Rua do Carvalhido e Rua de Monte dos Burgos, tendo como destino o concelho da Maia.

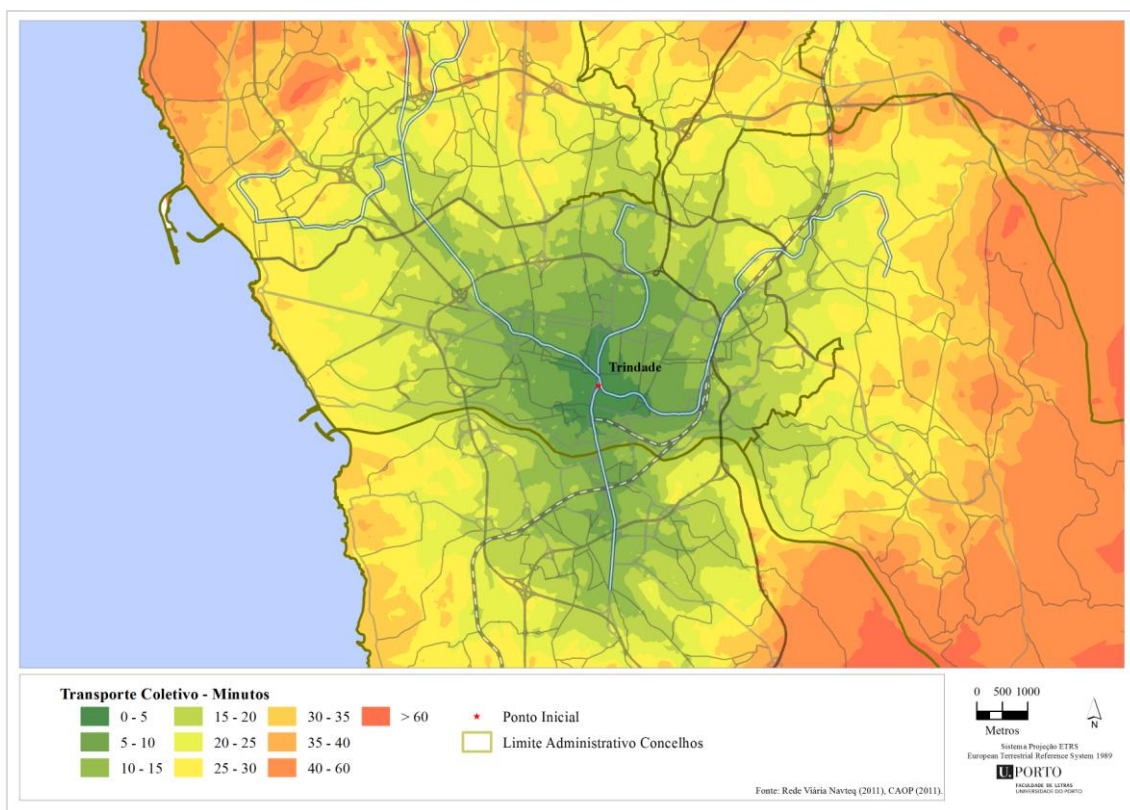


Figura 44 - Acessibilidade em transporte coletivo a partir da Trindade

Importa, agora, avaliar a acessibilidade por transporte coletivo da Trindade, por se tratar de um dos interfaces mais centrais e onde cruza toda a rede do Metro do Porto, modo de transporte que fornece uma velocidade comercial superior ao autocarro e que, por isso, se torna mais atrativa à população. A Figura 44, revela que este interface fornece um serviço eficaz entre pontos fulcrais da cidade e ligações rápidas aos concelhos limítrofes, com destaque para os concelhos de Gondomar e Vila Nova de Gaia. Relativamente a Gondomar, facilita a ligação com a parte norte do concelho de Gondomar, mais concretamente com as freguesias de Rio Tinto e parte das freguesias de Baguim e Fânzeres, coincidindo com as áreas do concelho que têm uma relação mais ativa com o concelho do Porto. Quanto a Vila Nova de Gaia, os valores respeitam a toda a Avenida da República (que está ao alcance de cerca de 20 minutos junto à Estação de metro de Santo Ovídio) e toda a área envolvente. Apesar disso, trata-se de uma

pequena parcela do concelho de Vila Nova de Gaia, concelho este que já ultrapassa por Porto em termos de valores absolutos de população residente. Quanto à área administrativa do concelho do Porto, a parte do concelho com pior serviço é claramente a parte ocidental, com tempos entre os 25 e os 30 minutos.

4.5.3. Comparação entre a acessibilidade em transporte individual e o transporte coletivo – o caso de Vila Nova de Gaia

Como foi possível compreender na análise produzida quanto à cobertura territorial, o concelho de Vila Nova de Gaia apresenta os valores mais baixos quando comparado com os outros concelhos em estudo. Isto não se deve só à extensão em área de Vila Nova de Gaia mas também em relação às diferenças de acessibilidade entre o transporte individual e o transporte coletivo, fazendo com que algumas áreas de Vila Nova de Gaia fiquem dependentes do uso do automóvel particular.

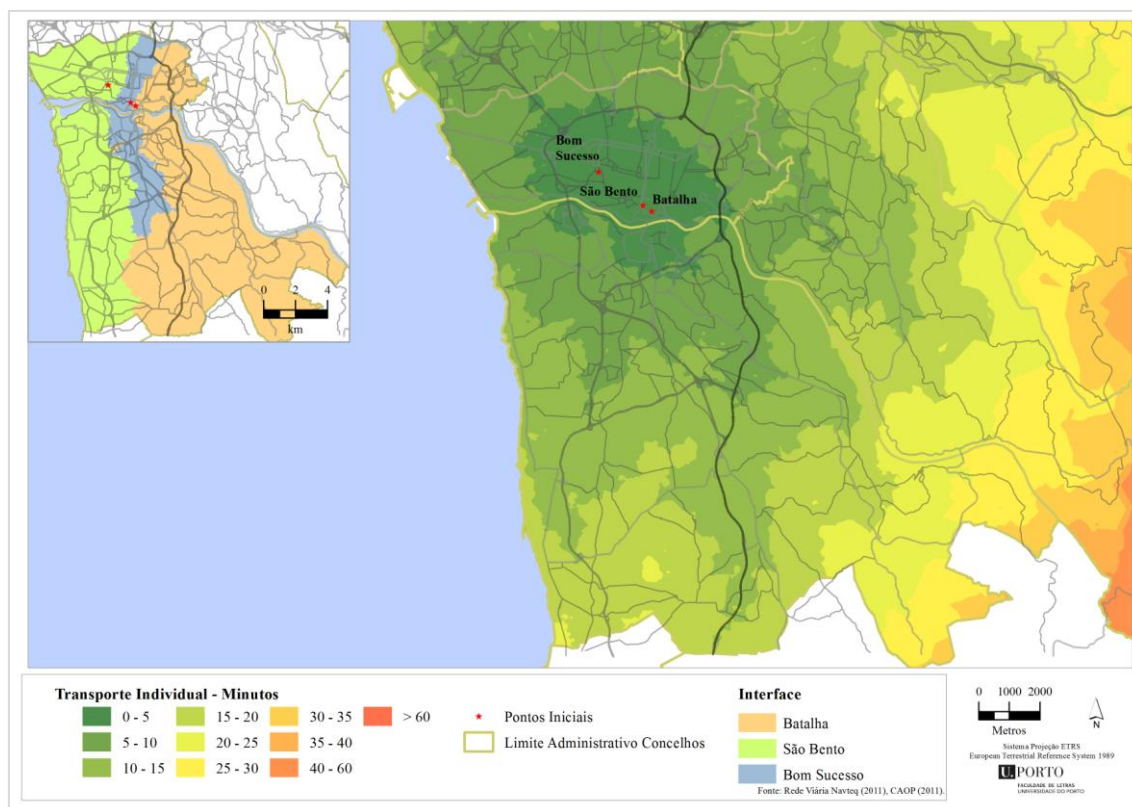


Figura 45 – Acessibilidade em transporte individual, tempo de deslocação do centro para a periferia: o caso de Vila Nova de Gaia

O território concelhio de Vila Nova de Gaia apresenta grandes diferenças quando se compara o transporte individual com o transporte coletivo. De forma a ser comparável o acesso

pelos dois meios de transporte, foram utilizados os mesmo pontos iniciais, mais concretamente os nós mais próximos dos interfaces do Bom Sucesso, São Bento e Batalha. Apesar do interface da Batalha não ter sido abordado até este ponto da Dissertação torna-se importante incluir nesta análise dado que os veículos do operador MGC utilizam este interface como ponto de chegada ao concelho do Porto.

No que diz respeito ao transporte individual, Vila Nova de Gaia possui bons acessos viários tendo autoestradas como a A1 e a A29 que ligam o concelho no sentido norte-sul e a A32 que realiza um percurso em certa parte paralelo ao Rio Douro realizando uma ligação radial externa ao Porto entre os concelhos de Vila Nova de Gaia e Oliveira de Azeméis. Posto isto, não é de estranhar que os valores apresentados para a acessibilidade em transporte individual sejam satisfatórios. Por exemplo, quem transita o rio Douro pela ponte do Infante consegue atravessar o concelho de Vila Nova de Gaia em menos de 20 minutos. Aliás, é pela ponte do Infante que a maior parte da população de Vila Nova de Gaia deve aceder ao Porto por se tratar do acesso mais rápido ao centro quando se recorre ao automóvel particular, com especial relevo caso queiram aceder à parte este da Área Administrativa do Porto, que compreende as freguesias de Campanhã, Bonfim e uma porção de Paranhos.

Relativamente ao interface do Bom Sucesso é especialmente importante para os habitantes que residam na faixa litoral do concelho de Vila Nova de Gaia, podendo realizar a travessia pela ponte da Arrábida. A faixa litoral de Vila Nova de Gaia pode ser especialmente atrativa para as pessoas que trabalhem na parte ocidental do concelho do Porto, englobando igualmente a área envolvente da Praça de Mouzinho de Albuquerque (vulgarmente conhecida como Rotunda da Boavista).

Quanto ao acesso a São Bento, perto do núcleo histórico da cidade do Porto, o acesso é mais curto para quem reside na área envolvente à Avenida da República e também para os residentes em Santo Ovídio, abrangendo a urbanização de Vila d'Este na freguesia de Vilar de Andorinho. Em grande parte, estes valores são influenciados pela proximidade da A1e pela travessia pelo tabuleiro inferior da Ponte Luís I.

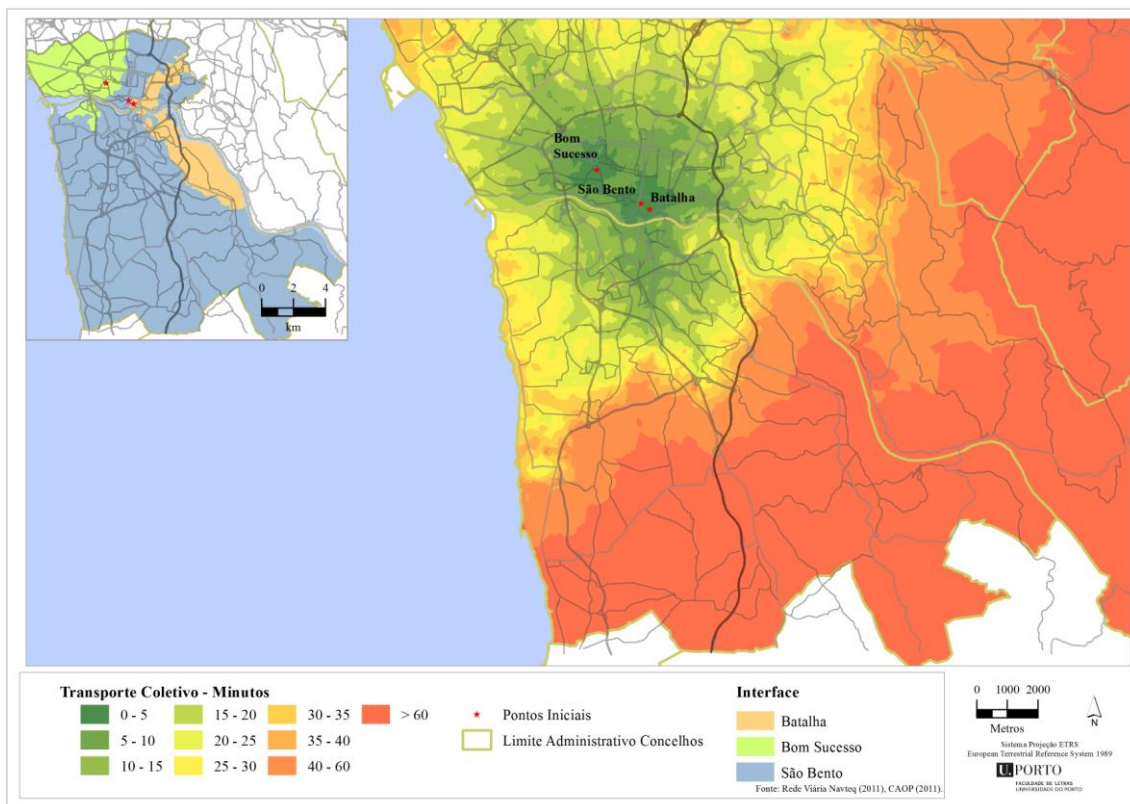


Figura 46 - Acessibilidade em transporte coletivo, tempo de deslocação do centro para a periferia: o caso de Vila Nova de Gaia

No que respeita à acessibilidade em transporte coletivo, do centro do Porto para Vila Nova de Gaia, o cenário difere completamente daquele que foi apresentado para o transporte individual. A oferta de transporte coletivo englobado no tarifário andante faz com que as freguesias do concelho de Vila Nova de Gaia que não estão adjacentes ao Porto sejam, em certa medida, “esquecidas”. Observando a *Figura 46* é possível compreender que a área compreendida entre os 0 e os 20 minutos se resume à parte do concelho mais próxima do Porto, com especial destaque para a área envolvente da Avenida da República que pode aceder àquela cidade através da linha D do Metro do Porto. Ao contrário do que se viu na análise da acessibilidade do transporte individual, o interface que tem maior peso em Vila Nova de Gaia é o de São Bento, pesando o facto de interface referido cruzarem linhas da STCP, JES e ainda Metro do Porto e CP. Quem perde grande peso é o interface da Batalha que, tendo apenas duas linhas do MGC integradas no tarifário Andante resume a cobertura à área em torno do trajeto das linhas.

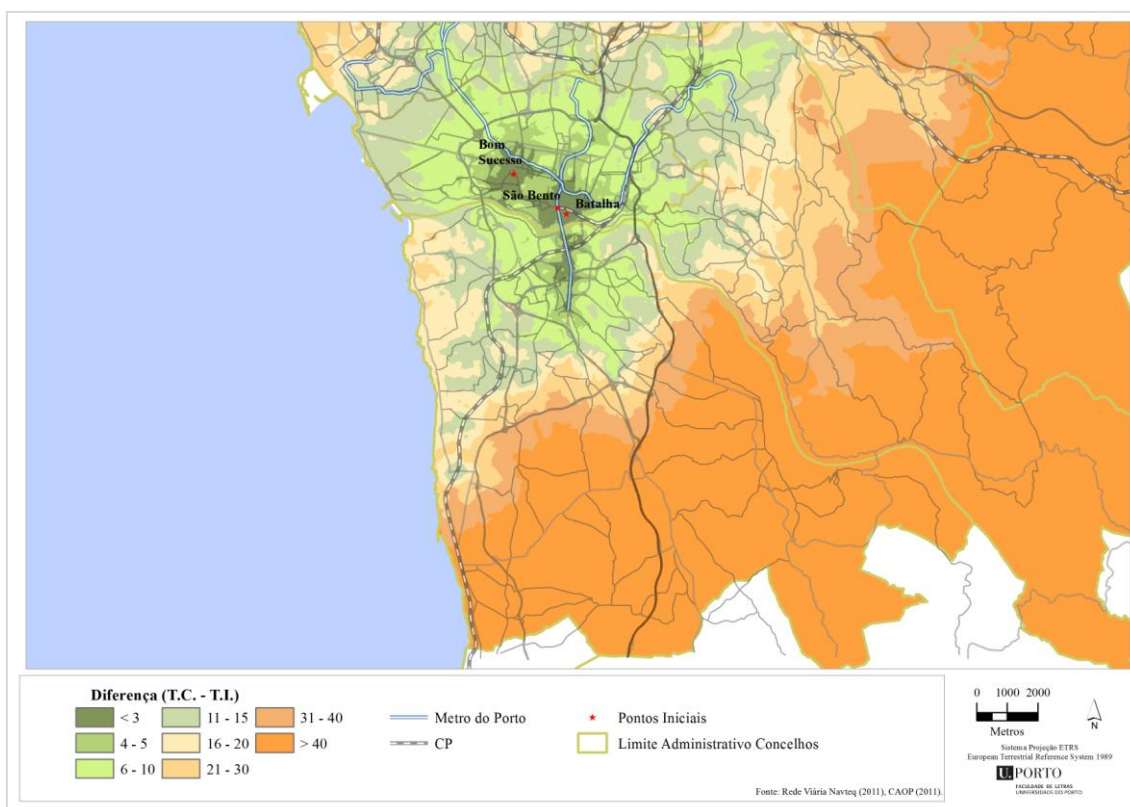


Figura 47 – Diferença de tempo de deslocação entre transporte individual e transporte coletivo: o caso de Vila Nova de Gaia

Assim sendo, importa avaliar as diferenças de tempo de deslocação entre o transporte individual e o transporte coletivo. Os tempos de deslocação proporcionados pelo transporte coletivo devem ser competitivos com a velocidade automóvel (Murray, 2003). Nesse sentido, verifica-se que o automóvel apresenta grandes vantagens em termos de tempos de deslocação, aumentando a diferença dos tempos entre o transporte individual e o transporte coletivo à medida que se aumenta a distância física, não só pela diferença de velocidades mas também conforme a cobertura e oferta de transportes coletivos.

Olhando mais pormenorizadamente com recurso à Figura 47, a diferença dos tempos de deslocação não é significativa nas áreas mais próximas de Vila Nova de Gaia com o concelho do Porto. Mesmo ao longo da faixa litoral, os valores sempre inferiores a 20 minutos até junto à estação de comboio de Francelos. Quando se avança para o interior do concelho de Vila Nova de Gaia o cenário é completamente diferente, com os tempos a serem superiores a 40 minutos. Isto deve-se simplesmente à inexistência de rede Andante. Mesmo ao longo do rio Douro, os valores aumentam de forma mais rápida quando comparada com os valores apresentados na faixa litoral. Esta ainda é uma parte do concelho, mais concretamente as freguesias de Avintes e

Vilar de Andorinho, que proporciona movimentos pendulares diários com o Porto de alguma magnitude.

Os novos padrões de mobilidade, associados ao crescimento exponencial do uso do automóvel têm sido responsáveis por novos problemas de mobilidade como o congestionamento automóvel, sendo necessário repensar a área de abrangência do transporte coletivo na sua dimensão de espaço e tempo.

Capítulo 5 – Conclusões

Os Sistemas de Informação Geográfica para transportes (GIS-T) são essenciais para o diagnóstico, planeamento e gestão de uma rede de transportes. Ao longo da Dissertação foram mostrados alguns dos métodos usados para a análise de uma rede, aproveitando as potencialidades de análise proporcionadas pelos SIG, sempre no sentido de identificar possíveis falhas no sistema de transportes coletivos que serve a cidade do Porto.

Os GIS-T são uma tecnologia recente, que aproveitam os novos recursos tecnológicos e as capacidades de *hardware* que se encontram na atualidade em qualquer computador doméstico. Os primeiros trabalhos com ferramentas de análise SIG não foram ligados ao setor das redes de transporte, apesar de a base desta tecnologia ter sido desenvolvida por investigadores na área dos transportes (Thill, 2000). A tecnologia conheceu a sua maior fase de evolução, nesta vertente, a partir da década de 80 do século XX, continuando a surgir novas metodologias e ferramentas a um ritmo cada vez mais forte. Paralelamente, começaram a surgir *softwares* de código aberto (*open-source*), que em muito contribuíram para este ritmo de evolução, dado proporcionarem a cooperação de indivíduos a uma escala global e a possibilidade de colaborarem em rede com o objetivo de partilha do código de novos programas, ferramentas, extensões, *plugins*, entre outras aplicações, que são passíveis de sofrer alterações posteriores, com o utilizador a ter a possibilidade de adaptar a ferramenta para o fim que deseja. A comunidade dos *open-source* para os SIG tem o acrónimo de FOSS4G, isto é, “*Free and Open Source Software for GIS/Geospatial*”, abrangendo diversas temáticas dos SIG.

A cidade do Porto é, no presente, o resultado de uma longa evolução pautada pela diversidade de processos territoriais próprios de centralidades com forte poder de atração de pessoas e atividades, cuja inserção regional – de grande proximidade a outros centros polarizadores –, determina uma dinâmica de mobilidade fortemente orientada por este padrão polinucleado e disperso. Neste âmbito, ao longo da Dissertação foram estudadas as interações espaciais através da representação dos principais fluxos populacionais de trabalhadores e estudantes que afluem à cidade do Porto. Este ponto é crucial, pois, atualmente o território não é apenas um conjunto de lugares, mas também um conjunto de interações e fluxos entre esses mesmos aglomerados.

No sentido de perceber quais os territórios da mobilidade, a descrição sociodemográfica tornou-se essencial para clarificar a forma como a população se fixa no espaço e quais as tendências atuais e futuras. A espacialização em ambiente SIG dos dados censitários disponibilizados pelo INE ilustra as dinâmicas de fixação populacional, mostrando, que no

período compreendido entre 1981 e 2011, se assistiu a um decréscimo acentuado da população residente no Porto, sendo nitidamente o concelho da AMP que assistiu à maior diminuição de efetivos. Um dos fatores que em muito contribuiu para esta dispersão populacional foi a procura por habitações mais económicas e novas, que oferecessem melhores condições de segurança e salubridade. Tal como foi demonstrado, a habitação das áreas “centrais” do Porto, e até das áreas que estão na sua proximidade, regista uma idade superior ao imobiliário disponível nos concelhos que lhe são contíguos, passando a ser o principal destino da “fase centrífuga” ocorrida no concelho do Porto. Por conseguinte, no sentido inverso, estão os concelhos “vizinhos” do Porto, que desde 1960, registam aumentos populacionais significativos. Apesar do avolumar do processo da periferização e exurbanização, o setor dos serviços reforçou-se no núcleo mais antigo da cidade, levantando questões de mobilidade e sustentabilidade ambiental, tais como o modo de transporte utilizado nos movimentos pendulares, sendo que o automóvel particular continua a imperar quando comparado com o transporte coletivo. Para além disso, a multiplicidade dos movimentos pendulares, provocada particularmente pela descentralização espacial do emprego no setor industrial, que passou ocupar espaços em lugares periféricos, levou à “*eclosão de bacias de emprego poli-centradas*” (Vázquez, 1992, p. 268).

Estas leituras constituíram o mote para avançar com um exercício de avaliação das redes de transporte coletivo que operam no interior do concelho do Porto, procurando satisfazer as necessidades diárias de deslocação da população. Esta análise foi necessária, sobretudo, para compreender os territórios que estão abrangidos pela rede que serve a cidade do Porto e a área coberta no conjunto da rede disponível, leitura essa propiciada pela geração, em *software* SIG, das áreas de influência de cada uma das paragens, tendo sido importante avaliar não só em termos de cobertura espacial, mas também em termos da oferta e das frequências.

Os dados relativos aos operadores de transportes coletivos demonstram que são vários os que atualmente integram o tarifário Andante e que, desta forma, contribuem diariamente para a mobilidade urbana. Apesar disso, a informação recolhida mostra que dentro dos limites administrativos do Porto operam tanto a STCP (que está encarregue da gestão da rede de transporte coletivos do concelho) como operadores privados, sendo que os trajetos das linhas dos operadores privados assemelham-se muito aos trajetos disponibilizados pela STCP. Este facto levanta dúvidas quanto à eficiência do sistema de transportes dado que não existe uma oferta cadenciada entre os operadores privados e a STCP, o que faria todo o sentido visto que operam com a mesma modalidade e servem a mesma população. Para além disso, o escalonamento de horários traria benefícios diretos para a população bem como para os

operadores privados que poderiam racionalizar a oferta sem prejudicar o serviço.

De facto, a introdução da rede do Metro do Porto foi o último marco histórico no sistema de transportes que serve a cidade, oferecendo um serviço mais rápido e eficiente que qualquer outro modo de transporte coletivo, para além de ter contribuído para a reconfiguração do território de forma completamente distinta. O facto de maior registo será, provavelmente, o interface da Trindade, onde cruza toda a rede de metro ligeiro, sendo um dos principais pontos de convergência da população que reside no território concelhio e nos concelhos “vizinhos”.

O estudo dos principais interfaces de transportes no interior do concelho do Porto constitui um importante contributo para compreender melhor a cobertura espacial da rede bem como a população que cada um dos interfaces serve, clarificando a leitura sobre as origens ou os destinos diretamente ligados a cada um dos interfaces. A análise isolada de cada um dos interfaces clarificou quais são os interfaces mais importantes para a mobilidade do concelho do Porto e para os concelhos na sua adjacência permitindo dividir os interfaces por grupos. Para o Porto, destacam-se os interfaces da Cordoaria e do Bom Sucesso, que oferecem uma vasta rede de autocarros que satisfazem, respetivamente, 75% e 67% da totalidade da área do concelho. Para Matosinhos, destacam-se os interfaces na zona da Boavista e o Hospital de São João. Aliás, o Hospital de São João é a principal porta de entrada para os habitantes que residem nos concelhos de Matosinhos, Maia e Valongo. No que toca a Gondomar, destaca-se o interface do Bolhão e, num segundo nível, Campanhã. Quanto a Vila Nova de Gaia, o concelho registou os resultados mais insatisfatórios devido à, ainda, fraca cobertura territorial da rede Andante, que se limita, apenas, a servir as freguesias adjacentes ao Porto. Para este último, destacam-se os interfaces da Casa da Música, Bom Sucesso e São Bento.

Contudo, a distribuição das linhas de transporte coletivo de hoje, por corresponderem a um processo evolutivo de ajuste às necessidades de mobilidade mais evidentes da população, cobrem as áreas que têm maiores níveis de dependência face ao “centro” do Porto. A leitura das áreas de cobertura espacial de cada um dos interfaces e a espacialização da totalidade dos serviços disponibilizados pela STCP através da técnica IDW (*Inverse Distance Weighted*) serviu para compreender que as freguesias de Campanhã (com especial destaque para a área compreendida a este da estação de comboio), Foz do Douro e Nevogilde poderão estar com maior défice de transporte coletivo quando comparadas com as demais áreas habitacionais do concelho do Porto. A determinação das isócronas para o transporte individual e transporte coletivo permitiu perceber que o território concelhio que apresenta maior défice é o de Vila Nova de Gaia, dado que a oferta da rede Andante neste concelho ainda é escassa e de pouco

alcance face à dimensão social, económica e física do concelho em questão. A solução poderia passar pela integração de mais linhas, principalmente da área concessionada à MGC, de modo a expandir a área de cobertura da rede Andante, tornando mais competitivos os tempos de deslocação quando comparado o transporte coletivo com o transporte individual.

Concluindo, o presente trabalho demonstrou como os Sistema de Informação Geográfica de código livre e as linguagens de programação como o *Python*, podem contribuir para uma análise mais profunda da realidade da mobilidade e acessibilidade urbana, procurando economizar nos custos de aquisição de *softwares* comerciais.

5.1. Perspetivas futuras

Com os exercícios aqui apresentados foi possível confirmar o poder de tratamento de informação de base espacial recorrendo a ferramentas avançadas dos Sistemas de Informação Geográfica, sempre apoiadas numa base *open-source*.

Apesar disso, apenas foram utilizadas algumas aplicações no meio de um número infindável de programas e metodologias existentes atualmente. No que toca às metodologias empregues na Dissertação que agora se fecha mas deixa amplo espaço de investigação em aberto, há certos pormenores que poderiam ter sido aperfeiçoados, como por exemplo, um levantamento *in situ* dos acessos pedonais que existem em cada uma das paragens ou estações, para além de algumas passagens pedonais que não são consideradas pelas companhias fabricantes da rede viária que, a nível mundial, se resumem à NAVTEQ ou à Tele Atlas. Este levantamento exaustivo dos acessos pedonais poderia aumentar a exatidão dos tempos de deslocação da rede viária que foi importada para o PostGIS.

Ao nível do PostGIS existem outras ferramentas que poderiam ter sido integradas. Após a criação da *view* dos tempos de deslocação de cada um dos interfaces, o tratamento posterior poderia ter sido realizado através da configuração de novas SQL, aproveitando ainda mais as potencialidades desta ferramenta. Para o caso em estudo, o tratamento posterior em QuantumGIS foi suficiente, aproveitando a interoperabilidade entre os sistemas. Ainda dentro da base SQL, o módulo PgRouting permite ampliar as análises para além daquelas que foram aqui apresentadas. A título exemplificativo, poderia ter sido feita uma avaliação individual sobre os acessos mais rápidos entre os interfaces, de modo a potenciar ligações rápidas e eficientes entre os dois pontos escolhidos. Em relação aos valores das impedâncias, estes podem ainda ser aperfeiçoados com a inserção dos segmentos de reta que têm corredores dedicados aos autocarros, incrementando a velocidade média em cerca de 5 a 7 km/h.

No que se refere à integração de outras variáveis, existem ainda uma quantidade de

indicadores que condicionam a mobilidade e acessibilidade da população e que, por isso, deverão ser consideradas em trabalhos vindouros.

A incorporação de dados para a análise da dimensão da procura dos transportes coletivos, como a localização e dimensão dos pontos geradores de emprego, tendo em vista a quantificação da população ativa por área, seria fulcral para melhor entender as estatísticas dos fluxos populacionais disponibilizados nos últimos Censos. A escala de análise máxima proporcionada por esses dados é de origem à freguesia e destino ao concelho, obrigando à incorporação de mais dados estatísticos de modo a realizar um exame mais profundo sobre a realidade da mobilidade e acessibilidade populacional.

Tendo em vista a modelação da procura, para além dos elementos já mencionados, poderia ser interessante cruzar a estrutura e características da rede de transportes coletivo, isto é, desde os modos de transporte até à oferta existente, como por exemplo os rendimentos das famílias. Deste modo, poder-se-ia obter um perfil potencial dos utilizadores da rede para descortinar quais as populações que estão mais dependentes do acesso por transporte coletivo.

A integração de dados relativos ao número de indivíduos a trabalharem no município de residência, tendo por base subsecção disponibilizada pelo INE, pode indicar quais as áreas das freguesias que estão mais dependentes de outros centros urbanos, para além de se poder repartir a população empregada pelos três setores de atividade económico (primário, secundário e terciário). Traçando um perfil geral das famílias, com uma divisão entre as que têm e as que não têm filhos, principalmente a esta escala censitária, poder-se-ia identificar quais as famílias com perfis de movimentos pendulares mais incaracterísticos, particularmente para os núcleos familiares que vivem nas áreas periféricas do Porto. Esta análise seria especialmente útil para os movimentos pendulares do tipo “casa-escola-trabalho” que, em grande medida, são garantidos através do uso do automóvel particular.

Em meios urbanos, a divisão à subsecção pode potenciar um exame das dinâmicas populacionais, *grosso modo*, ao quarteirão, que incorporando ferramentas de base SIG podem resultar em análises mais perspicazes.

Finalmente, fica a ideia, óbvia, de que todo e qualquer avanço no sentido da desagregação espacial da informação estatística para os estudos de mobilidade da população, constitui uma mais-valia para o enriquecimento da conceção e organização de dados passíveis de tratamento em *softwares* de base SIG, ou seja, para aproximar os estudos vindouros do que realmente determina, em última instância, a mobilidade de um território – o comportamento da população quando escolhe como vai deslocar-se!

Referências bibliográficas

- Banister, D. (2000). Sustainable urban development and transport -a Eurovision for 2020. *Transport Reviews*, 20(1), 113-130. doi: 10.1080/014416400295365
- Batista e Silva, F. (2009). *Modelação cartográfica e ordenamento do território: Um ensaio metodológico de cartografia dasimétrica aplicado à região Oeste e Vale do Tejo*. Porto:[Edição de Autor].
- Codd, E. F. (1970). A relational model of data for large shared data banks. *Commun. ACM*, 13(6), 377-387. doi: 10.1145/362384.362685
- Costa, Á., & Fernandes, R. (2012). Urban public transport in Europe: Technology diffusion and market organisation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(2), 269-284. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.002>
- Costa, P. D. C. (2012). *Acessibilidade para Todos - Universal Design com SIG Open-Souce*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.
- de Queiroz, G. R., Monteiro, A. M. V., & Câmara, G. (2013). BANCOS DE DADOS GEOGRÁFICOS E SISTEMAS NOSQL: ONDE ESTAMOS E PARA ONDE VAMOS. *Revista Brasileira de Cartografia*(65/3).
- de Sousa, F., & Alves, J. F. (2001). *Os transportes colectivos do Porto: perspectiva histórica: STCP*.
- Din, A. I. (1994). *Structured Query Language (SQL): A Practical Introduction*: NCC Blackwell.
- FONSECA, A. D. F., & FERNANDES, J. C. (2004). *DETECÇÃO REMOTA*: LIDEL - Edições Técnicas, Lda.
- Fonseca, A. L. T. S. (1998). *Porto Norte: Dinâmicas Urbanas e a sua Evolução*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.
- Gaspar, J. A. (2008). *Dicionário de Ciências Cartográficas*. Lisboa: Lidel-Edições Técnicas, Lda.
- Goodchild, M. (2000). GIS and Transportation: Status and Challenges. *GeoInformatica*, 4(2), 127-139. doi: 10.1023/a:1009867905167
- Longley, P. G., Michael, Maguire, David; Rhind, David. (2005). *Geographic Information Systems and Science* (2ª Ed. ed.).
- Matos, F. L. d. (1994). Os bairros sociais no espaço urbano do Porto: 1901-1956. *Análise Social*, XXIX (127), 677-695.
- Matos, J. L. d. (2001). *Fundamentos de informação geográfica*: Lidel.
- Metro. (2007). *A História do Metro do Porto*: Calendário de Letras.
- Miller, H. J. (1999). Potential Contributions of Spatial Analysis to Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T). *Geographical Analysis*, 31(4), 373-399. doi: 10.1111/j.1538-4632.1999.tb00991.x
- Monterey, G. d. (1972). *O Porto: origem, evolução e transportes*: Tip. Sociedade de Papelaria.
- Murray, A. T. (2003). A Coverage Model for Improving Public Transit System Accessibility and Expanding Access. *Annals OR*, 123(1-4), 143-156. doi: 10.1023/a:1026123329433
- O'Sullivan, D., Morrison, A., & Shearer, J. (2000). Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach. *International Journal of*

- Geographical Information Science*, 14(1), 85-104. doi: 10.1080/136588100240976
- Obe, R., & Hsu, L. (2011). *PostGIS in Action*: Manning.
- Oliveira, J. M. P. d. (1973). *O Espaço Urbano do Porto: Condições naturais e desenvolvimento*. Porto: Edições Afrontamento.
- Pacheco, E. (1992). Os transportes colectivos rodoviários no Grande Porto. *Revista da Faculdade de Letras - Geografia*, VIII, 5-64.
- Pacheco, E. (2001). *Alteração das acessibilidades e dinâmicas territoriais na Região Norte: expectativas, intervenções e resultantes*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.
- Pacheco, E., & Costa, A. (2012). "E se o serviço de transportes coletivos do Porto sob carris dos anos 50 não tivesse sido desmantelada?". *Resumo submetido e aceite ao XIII Colóquio Ibérico de Geografia, a realizar de 24 a 27 de Outubro de 2012*.
- Pacione, M. (2009). *Urban geography: a global perspective*. London, United Kingdom.
- Pereira, M. C. (1995). *Os Velhos Eléctricos do Porto*: José Carvalho Branco - Soc. Editorial Noticias da Beira Douro.
- Peuquet, D. J., & Marble, D. F. (2003). *Introductory Readings In Geographic Information Systems*: CRC Press.
- Ribeiro, O. (1945). *Portugal: o Mediterrâneo e o Atlântico: estudo geográfico*. Coimbra: Coimbra Editora.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2009). *The Geography of Transport Systems*: Routledge.
- Silva, C. d. C. F. d. (2004). *Interchange in Urban Public Transport: a necessary or misjudged problem? : a case study in Porto*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.
- Silva, C. d. C. F. d. (2008). *Comparative Accessibility for Mobility Management: The Structural Acessibility Layer*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Silva Pereira, H. J. (2010). As viagens ferroviárias em Portugal (1845-1896). *Cem Cultura, Espaço & Memória, CITCEM-Centro de Investigação Transdisciplinar Cultura, Espaço e Memória*.
- Steiniger, S., & Bocher, E. (2009). An overview on current free and open source desktop GIS developments. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(10), 1345-1370. doi: 10.1080/13658810802634956
- Steiniger, S., & Hunter, A. J. S. (2013). The 2012 free and open source GIS software map – A guide to facilitate research, development, and adoption. *Computers, Environment and Urban Systems*, 39(0), 136-150. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.003>
- Teles, P. C. R. (2003). *Os territórios (sociais) da Mobilidade: o desafio para a Área Metropolitana do Porto*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Thill, J.-C. (2000). Geographic information systems for transportation in perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 8(1-6), 3-12. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0968-090X\(00\)00029-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0968-090X(00)00029-2)
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region.

- Economic Geography*, 46(ArticleType: research-article / Issue Title: Supplement: Proceedings. International Geographical Union. Commission on Quantitative Methods / Full publication date: Jun., 1970 / Copyright © 1970 Clark University), 234-240. doi: 10.2307/143141
- Toms, S. (2015). *ArcPy and ArcGIS – Geospatial Analysis with Python*: Packt Publishing, Limited.
- Vázquez, I. M. F. R. B. L. (1992). *O processo de suburbanização no grande Porto: a evolução da cidade do Porto e a estruturação territorial dos concelhos periféricos*
- Tese de Doutoramento, FEUP.
- Vieira, N. F. d. S. N. (2008). *Dinâmicas da Mobilidade: O caso do Porto*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.
- Vonderohe, A. P., Highway, A. A. o. S., Officials, T., Administration, U. S. F. H., Program, N. C. H. R., & Board, N. R. C. T. R. (1993). *Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation*: National Academy Press.
- Waters, N. (2005). *Transportation GIS: GIS-T*.
- Westra, E. (2010). *Python Geospatial Development : Build a Complete and Sofisticated Mapping Application From Scratch Using Python Tools for GIS Development*. Olton, Birmingham: Packt Publishing.

Anexos

Anexo 1

A elaboração do código de representação do mapa de fluxos, passou por diversas fases, desde a recolha da informação, até à concetualização do código, até à correta parametrização do mesmo.

A recolha dos dados do INE referentes a população residente empregada ou estudante obrigou ao tratamento da tabela de atributos. De forma genérica, foi necessário proceder à:

- “Limpeza” do ficheiro excel, eliminando os campos que o programa não consegue ler (simplificação da tabela);

- Transformação da tabela dinâmica numa tabela simples, de modo a obter todos os pares OD, através da macro presente na Figura 15.

- De modo a estandardizar o output a tabela de input deverá obedecer ao seguinte *template*:

ORIGEM	ORIGEM_X	ORIGEM_Y	DESTINO	DESTINO_X	DESTINO_Y	VALOR
1312	-40942,95974	165950,5331	0101	-22224,802	101936,185	30

“ORIGEM” - Representa o código do concelho de origem da população (código de concelho, também conhecido como DICO);

“DESTINO” - Representa o código do concelho de destino da população (código do concelho, também conhecido como DICO)

“ORIGEM_X”/“DESTINO_X” - Coordenada X do centroide do concelho de origem/destino;

“ORIGEM_Y”/“DESTINO_Y” - Ordenada Y do centroide do concelho de origem/destino;

“VALOR” – Valor a transferir do concelho de origem para o concelho de destino.

Para a elaboração do código foram utilizados os seguintes módulos:

- Arcpy (entre os quais foram usados os comandos `arcpy.GetParameterAsText`, `arcpy.CreateFeatureclass_management`, `arcpy.DefineProjection_management`, `arcpy.TableToTable_conversion`, `arcpy.Searchcursor`, `arcpy.Point()`, `arcpy.Array()`, `arcpy.Insertcursor`, `arcpy.JoinField_management`, `arcpy.AddField_management`, `arcpy.CalculateField_management`, `arcpy.MakeFeatureLayer_management`, `arcpy.FeatureclassToFeatureClass_conversion`, `arcpy.AddMessage()`);

Também foram usados comandos auxiliares de gestão dos dados através “*os*” e “*shutil*”.

Anexo 2

O mapa do número de circulações por eixo viário carece de uma exaustiva recolha de informação quanto ao trajeto das linhas e o número de circulações nos vários momentos do dia. Por isso, de forma a estandardizar a informação, a recolha deverá seguir o seguinte *template*:

Shapefile	op	sent	HPM	HPA	HPT
M_25i_Maia_Alfena.shp	MaiaTRP	V	1	0	1

“Shapefile” – Nome da *shapefile* da linha (ou variante da linha);

“op” – Operador de transporte;

“sent” – sentido da viagem, ida (“I”) ou volta (“V”) ;

“HPM” – Número de circulações na hora de ponta da manhã, definida à partida.

“HPA” – Número de circulações na hora de ponta de almoço, definida à partida.

“HPT” – Número de circulações na hora de ponta da tarde, definida à partida.

Para a elaboração do código foram utilizados os seguintes módulos:

- Arcpy (entre os quais foram usados os comandos `arcpy.GetParameterAsText`, `arcpy.CreateFolder_management`, `Arcpy.AddMessage`, `arcpy.AddField_management`, `arcpy.TableToTable_conversion`, `arcpy.Dissolve_management`, `arcpy.CalculateField_management`, `arcpy.MakeFeatureLayer_management`, `arcpy.AddJoin_management`, `arcpy.Intersect_analysis`, `arcpy.ListFeatureclasses`, `arcpy.FieldMappings()`, `arcpy.FieldMap`, `vars()[field].addInputField(table,field)`, `arcpy.Merge_management`, `arcpy.AddWarning()`, `arcpy.GetMessages()`).

Também foram usados comandos auxiliares de gestão dos dados através “*os*” e “*shutil*”.